

Christian Kloppe

Konstruktion und Auslegung des Ansaugtraktes  
eines Formula Student Rennwagens

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA  

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau / Feinwerktechnik

Mittweida, 2009

Christian Kloppe

Konstruktion und Auslegung des Ansaugtraktes  
eines Formula Student Rennwagens

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA  

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau / Feinwerktechnik

Mittweida, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Weidermann

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wüstrich

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

## **Bibliographische Beschreibung**

Kloppe, Christian:

Konstruktion und Auslegung des Ansaugtraktes eines Formula Student Rennwagens.

- 2009. - 48 Seiten.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau / Feinwerktechnik,  
Diplomarbeit, 2009

## **Referat**

In der vorliegenden Arbeit wird die Konstruktion und Auslegung des Ansaugtraktes eines Formula Student Rennwagens beschrieben. Hierbei wird im Rahmen des Konstruktionsprozesses auf die Grundlagen von Ansauganlagen eingegangen sowie die Bedeutung der Abgasanlagengestaltung für die Funktion des Ansaugtraktes erläutert.

Darüber hinaus wird zudem auf die Fertigung und Erprobung der entwickelten Konstruktion eingegangen, um eine Grundlage für weitere Entwicklungen in dieser Hinsicht, im Rahmen des Projektes Formula Student an der Hochschule Mittweida (FH), zu bieten.

**Schlagwörter:** Ansaugtrakt, Ansaugung, Formula Student

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bibliographische Beschreibung.....</b>	<b>III</b>
<b>Referat.....</b>	<b>III</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Nomenklatur .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen von Ansauganlagen.....</b>	<b>6</b>
2.1 Aufbau und Funktionsweise.....	6
2.2 Aufladeverfahren.....	9
2.2.1 Aufladeverfahren ohne Verdichter.....	9
2.2.2 Aufladeverfahren mit Verdichter.....	11
<b>3 Konstruktionsanforderungen .....</b>	<b>13</b>
<b>4 Konstruktion des Ansaugtraktes.....</b>	<b>15</b>
4.1 Konzeption .....	15
4.2 Saugrohre .....	19
4.3 Verteilervolumen .....	23
4.4 Drosselement .....	26
4.5 Luftfilter .....	28
4.6 Einspritzanlage.....	28
4.7 Baugruppe.....	31
<b>5 Hinweise für die Abgasanlagengestaltung .....</b>	<b>34</b>
<b>6 Fertigung des Ansaugtraktes .....</b>	<b>38</b>
6.1 Nicht kohlefaserverstärkte Bauteile .....	38
6.2 Kohlefaserverstärkte Bauteile.....	40
6.2.1 Herstellung der Laminierformen.....	41
6.2.2 Laminieren der Einzelteile.....	43
6.2.3 Herstellung der Bauteile.....	45
<b>7 Erprobung .....</b>	<b>47</b>
<b>8 Ergebnisse .....</b>	<b>50</b>

<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>52</b>
<b>Anlage A: Leistungsdiagramme.....</b>	<b>53</b>
<b>Anlage B: Technische Zeichnungen / Stücklisten .....</b>	<b>57</b>
<b>Anlage C: Datenblätter Laminiermaterialien .....</b>	<b>84</b>
<b>Glossar.....</b>	<b>93</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>94</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>96</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>97</b>
<b>Erklärung .....</b>	<b>98</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Systemübersicht der Ansauganlage eines Saugmotors .....	7
Abbildung 2-2: Drehmoment als Funktion der Saugrohrlänge .....	8
Abbildung 2-3: Drehmoment als Funktion des Rohrdurchmessers .....	9
Abbildung 2-4: Prinzip der Schwingrohraufladung .....	10
Abbildung 2-5: Schema der dynamischen Aufladeverfahren .....	11
Abbildung 2-6: Systemübersicht der Ansauganlage eines aufgeladenen Motors .....	12
Abbildung 3-1: Bauraumvorgabe durch das Reglement.....	13
Abbildung 4-1: Seitliche und isometrische Ansicht des Bauraums.....	17
Abbildung 4-2: Ansaugvarianten in der Formula Student.....	18
Abbildung 4-3: Einbaukonzept für den Ansaugtrakt.....	18
Abbildung 4-4: Leistungs-/Drehmoment Diagramm 2008 .....	20
Abbildung 4-5: Ansaugungsgestaltung (Trichter, Rohr) als Funktion der Leistung.....	20
Abbildung 4-6: Schnittdarstellung und Gesamtaufbau eines Saugrohrs .....	22
Abbildung 4-7: Verteilervolumen und Auswirkung der Ansaugtrichtergestaltung .....	23
Abbildung 4-8: Abmessungen der Reinfluftleitung und schematischer Druckverlauf...	26
Abbildung 4-9: Funktionsprinzip von Drosselklappe und Flachschieber.....	27
Abbildung 4-10: Filteraufbau und Strömungsverlauf.....	28
Abbildung 4-11: Aufbau und Funktionsprinzip der Einspritzanlage .....	29
Abbildung 4-12: Erwartetes Leistungs-/Drehmoment Diagramm für 2009 .....	31
Abbildung 4-13: Ansaugtrakt und Positionierung innerhalb des Fahrzeugs .....	33
Abbildung 5-1: Einfluss der Zusammenführung der Krümmer auf den Mitteldruck.....	35
Abbildung 5-2: Einfluss der Sekundärzusammenführung auf den Mitteldruck.....	36
Abbildung 5-3: Funktionsprinzip von Reflexions- und Absorptionsdämpfer.....	37
Abbildung 6-1: Befestigungsblech mit Kraftstoffleiste (Gewindestücke markiert) .....	39
Abbildung 6-2: Wasserstrahlgeschnittene Bauteile.....	39
Abbildung 6-3: Varianten von Laminierformen.....	41
Abbildung 6-4: Aufteilung der Bauteile zur Herstellung .....	42
Abbildung 6-5: Schichtaufbau beim Vakuumverpressen.....	44
Abbildung 6-6: Entformte Hälfte des Verteilervolumens.....	45
Abbildung 7-1: Beschädigung des Aluminiumteils durch Verpuffungen .....	47
Abbildung 7-2: Leistungs-/Drehmoment Diagramm 2009 .....	49
Abbildung 8-1: Leistungs-/Drehmoment Vergleich Auslegung und Prüfstand .....	50

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Disziplinen und Punkteverteilung FSG 2009 .....	2
Tabelle 3-1: Anforderungsliste.....	14
Tabelle 6-1: Übersicht der Herstellungsverfahren .....	40

## Nomenklatur

### Formelzeichen

$a$	Geschwindigkeit	[m/s]
$a_{\text{Welle}}$	Druckwellengeschwindigkeit	[m/s]
$A_{\text{Rs}}$	Restriktorquerschnitt	[m <sup>2</sup> ]
$d_{\text{Rs}}$	Restriktordurchmesser	[m]
$d_{\text{Saug}}$	Saugrohrdurchmesser	[mm]
$H_{\text{u}}$	spezifischer Heizwert	[J/kg]
$L_{\text{min}}$	Luftbedarf	[–]
$L_{\text{Saug}}$	Saugrohrlänge	[m]
$\lambda$	Luftverhältnis	[–]
$M$	Drehmoment	[Nm]
$m_{\text{Kraftstoff}}$	Kraftstoffstrom	[kg/s]
$m_{\text{th,max}}$	maximaler, theoretischer Luftmassenstrom	[kg/s]
$\eta_{\text{e}}$	effektiver Wirkungsgrad	[–]
$n_{\text{M}}$	Motordrehzahl	[min <sup>-1</sup> ]
$P$	Leistung	[kW]
$P_{\text{e,th,max}}$	maximale, theoretische Motorleistung	[kW]
$r_{\text{min}}$	Mindestradius	[mm]
$t$	Zeit	[s]
$V_{\text{Air,min}}$	Mindestairboxvolumen	[dm <sup>3</sup> ]
$V_{\text{h}}$	Hubvolumen eines Zylinders	[dm <sup>3</sup> ]
$z$	Anzahl der Zylinder	[–]

### Abkürzungen

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CFK	Kohlenfaserverstärkter Kunststoff
FSG	Formula Student Germany
SAE	Society of Automotive Engineers
VDI	Verein Deutscher Ingenieure



# 1 Einleitung

Im Jahre 1981 wurde die Formula SAE<sup>1</sup> durch die amerikanische Gesellschaft der Automobilingenieure ins Leben gerufen. Hierbei handelt es sich um einen Konstruktionswettbewerb, welcher Studenten die Möglichkeit bietet, praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der Fahrzeugentwicklung zu sammeln, indem sie selbst einen Rennwagen konstruieren und bauen. Innerhalb weniger Jahre erlangte dieser Wettbewerb auch außerhalb der Vereinigten Staaten von Amerika Bedeutung, was in der Folge zu Ablegern dieser Veranstaltung in anderen Ländern führte. Dazu zählt seit 2006 auch Deutschland mit der Formula Student Germany, wobei die Organisation des Wettbewerbs und die Veranstaltung der Rennen durch den VDI<sup>2</sup> erfolgt.

Das Konzept hinter diesem Wettbewerb ist die fiktive Annahme, eine Produktionsfirma habe eine Gruppe von Konstrukteuren, in diesem Falle die studentischen Teams, beauftragt einen Prototypen eines einsitzigen Formelrennwagens zu konzipieren. Dieser soll als Grundlage für eine Serienfertigung herangezogen werden, wobei die Zielgruppe des Produktes die nicht-professionellen Wochenendrennfahrer darstellen. Daraus ergeben sich diverse Anforderungen an den zu entwickelnden Rennwagen. Grundsätzlich soll dieser sehr gute Fahreigenschaften in Bezug auf Beschleunigung, Bremskraft und Fahrverhalten aufweisen [1]. Darüber hinaus sollen die Kosten gering, die Bedienbarkeit einfach und die Zuverlässigkeit des Fahrzeugs möglichst hoch sein. Ausgehend von diesen Vorgaben sind die Studenten gezwungen sich intensiv mit der Materie auseinanderzusetzen, um einen Rennwagen zu entwickeln, welcher bei den Rennveranstaltungen bestehen kann. Da es sich hierbei in erster Linie um einen Konstruktionswettbewerb und nicht um ein konventionelles Rennen handelt, sind die Beschränkungen durch das Reglement, verglichen mit anderen Rennserien, relativ gering. Somit sollen die Studenten nicht zuletzt zu kreativen Ideen und Lösungen ermutigt werden [2].

Die Bewertung der entwickelten Rennwagen erfolgt in verschiedenen Disziplinen, wobei hier zwischen so genannten statischen und dynamischen Disziplinen unterschieden wird. Bei den statischen Disziplinen handelt es sich sowohl um schriftlichen Einreichungen als auch Präsentationen, zu deren Beurteilung eine Jury aus Experten der Motorsport-, Automobil- und Zuliefererindustrie herangezogen wird [3]. Dagegen treten bei den dynamischen Disziplinen die Rennwagen im direkten Vergleich gegeneinander an, um deren Leistungsfähigkeit zu ermitteln. Diese Art des

---

<sup>1</sup> Society of Automotive Engineers

<sup>2</sup> Verein Deutscher Ingenieure

Leistungsvergleichs genießt im Allgemeinen das größte Interesse und verleiht dem Wettbewerb seine besondere Atmosphäre.

Nichtsdestotrotz ist es entscheidend, ein Fahrzeugkonzept zu entwickeln, welches in allen Disziplinen gute Ergebnisse erzielt, um eine Platzierung im vorderen Starterfeld zu erreichen. Dies wird besonders deutlich, wenn man die einzelnen Disziplinen und deren Punktevergabe genauer betrachtet. (siehe Tabelle 1-1).

**Tabelle 1-1:** Disziplinen und Punkteverteilung FSG<sup>3</sup> 2009 [4]

Art der Disziplin	Disziplin	Max. Punktzahl
Statisch	Business Plan Presentation	75
	Cost Event	100
	Engineering Design Event	150
	Gesamt	<b>325</b>
Dynamisch	Skid Pad	75
	Acceleration	75
	Autocross	100
	Fuel Efficiency	100
	Endurance	325
	Gesamt	<b>675</b>
<b>Gesamt</b>		<b>1000</b>

Eine der insgesamt drei Präsentationen des Wettbewerbs stellt die Business Plan Presentation dar, wobei eine aus Juroren bestehende fiktive Investorengruppe von dem Verkaufskonzept des Rennwagens überzeugt werden muss. Abgesehen von einer durchdachten Vermarktungsstrategie gilt es nachzuweisen, dass der entwickelte Rennwagen den gestellten Anforderungen am besten gerecht wird [1]. Hierbei treten die finanziellen Aufwendungen einstweilen in den Hintergrund und die Leistungsmerkmale des Fahrzeugs stehen im Fokus des Verkaufskonzepts.

Im Gegensatz dazu stehen beim Cost Event die finanziellen Aspekte im Mittelpunkt, wobei das Bestreben darin besteht, mit möglichst geringen Kosten einen Rennwagen mit einer hohen Leistungsfähigkeit zu konstruieren. In der Folge wird eine kostenorientierte Konstruktion angestrebt, wodurch die Studenten zu einer

<sup>3</sup> Formula Student Germany

realitätsnahen Arbeitsweise angehalten werden, welche Überlegungen zur Leistung als auch den Kosten einschließt. Abgesehen davon soll durch das Cost Event eine Materialschlacht unterbunden und ein Gleichgewicht zwischen den finanziellen Voraussetzungen der verschiedenen Teams geschaffen werden.

Neben diesen beiden Präsentationen stellt das Engineering Design Event die wohl wichtigste statische Disziplin dar. Hierbei wird der entwickelte Rennwagen den Juroren, welche spezifische Fragen zu den konstruktiven Lösungen am Fahrzeug stellen, vorgestellt, um die erbrachte Ingenieursleistung zu beurteilen. Die Aufgabe der studentischen Teams besteht darin, ihre konstruktiven Entscheidungen zu rechtfertigen und die technischen Besonderheiten des Rennwagens hervorzuheben. Es ist also notwendig, mit einem durchdachten Fahrzeugkonzept aufzuwarten, um eine gute Platzierung bei dieser Disziplin zu erreichen.

Ein ausgereiftes Konzept ist zweifellos auch für eine erfolgreiche Teilnahme beim dynamischen Teil des Wettbewerbs erforderlich, bei welchem die Belastungsgrenze des Rennwagens ausgelotet wird. Die Beurteilung des Kurvenverhaltens erfolgt mit Hilfe des Skid-Pad Events, wobei es sich um einen Rundkurs in Form einer liegenden Acht handelt, welche aus zwei Kreisen besteht, die jeweils einen konstanten Kurvenradius aufweisen [1]. Hierbei stellt jedes Team zwei Fahrer, die in jeweils zwei Versuchen den Rundkurs in der schnellstmöglichen Zeit absolvieren.

Auf diese Art und Weise wird auch das Acceleration Event durchgeführt, wobei der Rennwagen aus dem Stand über eine 75m lange Gerade beschleunigt wird [1]. Hier zeigt sich das Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs, wobei Faktoren wie Motorleistung, Getriebeübersetzung und Traktion von entscheidender Bedeutung sind, um die Strecke in einer möglichst kurzen Zeit zurückzulegen [2].

Im Gegensatz zu den bisher genannten Disziplinen kombiniert das Autocross verschiedene Leistungsmerkmale wie Kurvenverhalten, Beschleunigungsvermögen und Bremsleistung in einer Disziplin. Dabei handelt es sich um einen etwa 800m langen mit Geraden, Haarnadelkurven und weiteren Schikanen gespickten Rundkurs, welcher ebenfalls in einem möglichst kurzen Zeitraum durchfahren werden muss. Dadurch lassen sich sowohl die Wendigkeit und das Fahrverhalten des Rennwagens beurteilen als auch die Fähigkeiten der Fahrer, da diese im Vorfeld keine Trainingsrunden absolvieren dürfen [1].

Die wichtigste dynamische Disziplin bildet mit Abstand das Endurance, ein dem Autocross ähnlicher Rundkurs. Im Unterschied zum Autocross weist dieser jedoch eine Länge von 22km auf, um auf diese Weise die Betriebssicherheit und Dauerhaltbarkeit der Boliden zu ermitteln. In Verbindung mit diesem Rennen findet das Fuel Efficiency, die Messung des Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge über die Strecke von 22km, statt.

Die Bedeutung dieser beiden Disziplinen erklärt sich zum einen aus der erreichbaren Punktzahl<sup>4</sup> und zum anderen aus der Tatsache, dass in der Regel nur knapp die Hälfte aller teilnehmenden Rennwagen diesen Hörtetest bestehen. Es ist daher von großer Bedeutung, das Endurance erfolgreich zu absolvieren, um eine Platzierung im vorderen Starterfeld zu erreichen.

Dieses Ziel wurde bei der erstmaligen Teilnahme des Hochschulteam 2008 verfehlt, da der Rennwagen aufgrund eines Kupplungsschadens aus dem Endurance ausschied. Abgesehen davon konnten bei den dynamischen Disziplinen nur befriedigende Ergebnisse erzielt werden, was das Team der Hochschule veranlasste, das gesamte Fahrzeugkonzept hinsichtlich konstruktionsbedingter Defizite zu analysieren. In der Folge wurden verschiedene Fahrzeugkomponenten ausgewählt, deren Verbesserung den Schwerpunkt der aktuellen Neukonstruktion bilden, um die gesamte Leistungsfähigkeit des Nachfolgemodells wesentlich zu steigern.

Zu diesen Komponenten zählt unter anderem der Ansaugtrakt, welcher den Motor<sup>5</sup> mit der für die Verbrennung notwendigen Luft versorgt und der im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Grund auf neu entwickelt und hergestellt wurde. Diese Herangehensweise für die Verbesserung eines Bauteils mag ungewöhnlich erscheinen, ergibt sich jedoch zwangsläufig auf Grund folgender Problematik. Einerseits wurde der bestehende Ansaugtrakt den hohen Anforderungen eines Renneinsatzes nicht gerecht und andererseits stützt sich die Konstruktion auf lediglich geringe, theoretische Grundlagen. Insoweit lässt sich beispielsweise feststellen, dass der Motor nur ein geringes Drehmoment im unteren Drehzahlbereich entwickelt. Die genauen Ursachen für diesen Umstand lassen sich jedoch infolge der unzureichenden, theoretischen Kenntnisse des Teams derzeit nicht präzise ermitteln.

Daraus resultiert die Entscheidung, zu Beginn der Arbeit auf die allgemeinen Grundlagen von Ansaugsystemen einzugehen, um eine Basis für die vorliegende Arbeit, als auch weiterführende Entwicklungen des Hochschulteam in diesem Bereich zu schaffen. In dem Zusammenhang wird zunächst auf den prinzipiellen Aufbau und die Wirkungsweise eines Ansaugtraktes eingegangen. Darüber hinaus werden die verschiedenen Prinzipien der Aufladung, der Leistungssteigerung des Motors über eine gesteigerte Luftzufuhr, erläutert. Im Anschluss daran werden die verschiedenen Konstruktionsanforderungen, welche die Grundlage für den konstruktiven Prozess bilden, erarbeitet. Hierbei wird zunächst ein Konzept, basierend auf den erarbeiteten Anforderungen, entwickelt. Dieses beinhaltet verschiedene Festlegungen hinsichtlich

---

<sup>4</sup> Die maximal erreichbare Punktzahl von Endurance und Fuel Efficiency beträgt 425, wobei maximal 1000 Punkte im gesamten Wettbewerb erreicht werden können.

<sup>5</sup> Hierbei handelt es sich um den Motor einer Honda CBR 600 RR (PC 37) Baujahr 2005.

des Aufladungsprinzips, der Materialien, der Abmaße der Bauteile, sowie deren Anordnung und Unterbringung innerhalb des Fahrzeugs. Ausgehend von diesen Vorgaben werden die einzelnen Bauteile des Ansaugtraktes wie Saugrohr, Verteilervolumen, Einspritzung, Durchflussbegrenzer, Drosselement und Luftfilter konstruiert und nachfolgend zu einer Baugruppe zusammengefügt. Dieser Abschnitt bildet den umfangreichsten und zugleich wichtigsten Teil der vorliegenden Arbeit, da eine sorgfältige Konstruktion die Grundlage für eine fehlerfreie Funktion des Ansaugtraktes im späteren Fahrzeug darstellt. Abgesehen davon ist für das korrekte Arbeiten des Motors auch das reibungslose Zusammenspiel zwischen Ansaugtrakt und Abgasanlage von Bedeutung. Daher werden anschließend die wesentlichsten Kriterien für die Auslegung der Abgasanlage behandelt, wobei sich diese an der entwickelten Ansauganlage orientieren. Hieran gliedert sich die Beschreibung der Herstellung des Ansaugtraktes, welche einen wesentlichen Teil des durchgeführten Projektes bildete, da die Konstruktion schließlich in dem neu entwickelten Fahrzeug des Hochschulteams zur Anwendung kommen sollte. Dieser Abschnitt legt die durchgeführten Arbeitsschritte sowie die verwendeten Fertigungsmethoden näher dar. Abgesehen von der Herstellung des Ansaugtraktes wurde zudem dessen Funktionsweise geprüft, wobei die dabei gewonnen Ergebnisse am Ende dieser Arbeit dargelegt und mit der theoretischen Auslegung verglichen werden. Den Abschluss bildet eine kurze Zusammenfassung über die während des Projektes durchgeführten Arbeiten sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse.

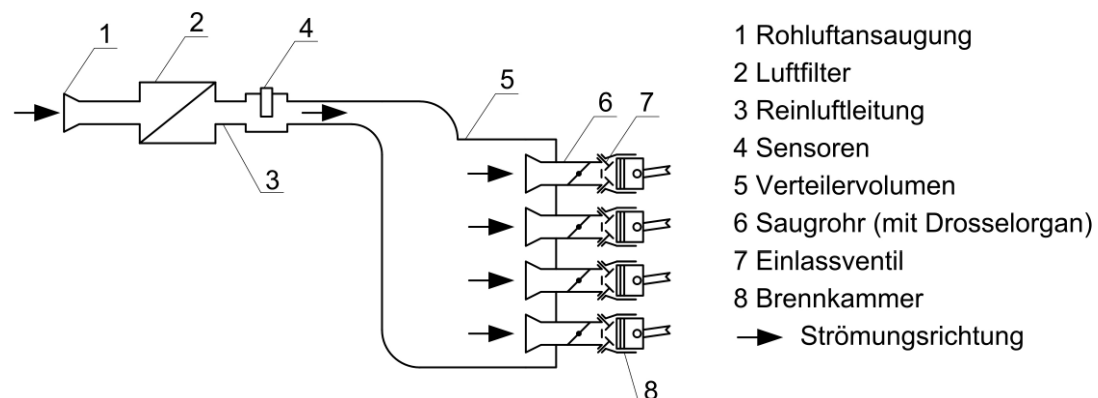
## 2 Grundlagen von Ansauganlagen

Die Aufgabe des Ansaugtraktes besteht darin, den Motor mit möglichst geringen Verlusten mit der für die Verbrennung benötigten Luft zu versorgen [5]. Grundsätzlich gestaltet sich der Aufbau der Ansauganlage bei allen Verbrennungsmotoren gleich, wobei sich jedoch Unterschiede aus der Art der Steuerung sowie der Verwendung einer Aufladung ergeben [5]. In dem Fall einer Aufladung wird versucht, die Leistung des Motors über eine gesteigerte Luftzufuhr zu erhöhen.

### 2.1 Aufbau und Funktionsweise

Der prinzipielle Aufbau der Ansauganlage eines Saugmotors ist in Abbildung 2-1, dargestellt, wobei die für die Verbrennung notwendige Luft durch den in den Zylindern entstehenden Unterdruck angesaugt wird. Hierbei werden durch die periodische Kolbenbewegung gasdynamische Vorgänge induziert, welche zu Resonanzen innerhalb des Systems führen [5].

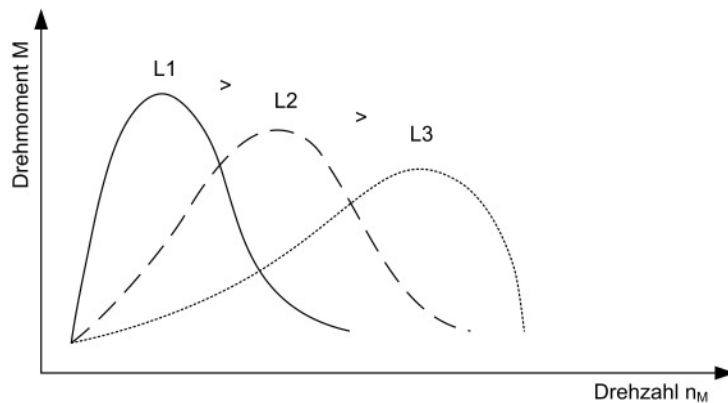
Am Einlass des Ansaugtraktes befindet sich die Rohluftleitung, welche der Strömungsführung sowie der Schmutzabscheidung von groben Partikeln dient. Hierbei kommt im Rennsport der Positionierung der Rohluftansaugung eine beträchtliche Bedeutung zu, weil der Motor mit möglichst kühler und sauberer Luft versorgt werden muss. Zudem wird darauf geachtet, unnötige Umlenkungen oder Wege der Rohluftleitung zu vermeiden. Abgesehen davon schützt die Rohluftleitung das nachfolgende Luftfilterelement vor Nässe. Dieses ist in den Luftfilter integriert, welcher eine optimale Anströmung des Filterelements ermöglichen soll, um Druckverluste und eine damit einhergehende Verschlechterung des Motorwirkungsgrades zu verhindern.



**Abbildung 2-1:** Systemübersicht der Ansauganlage eines Saugmotors

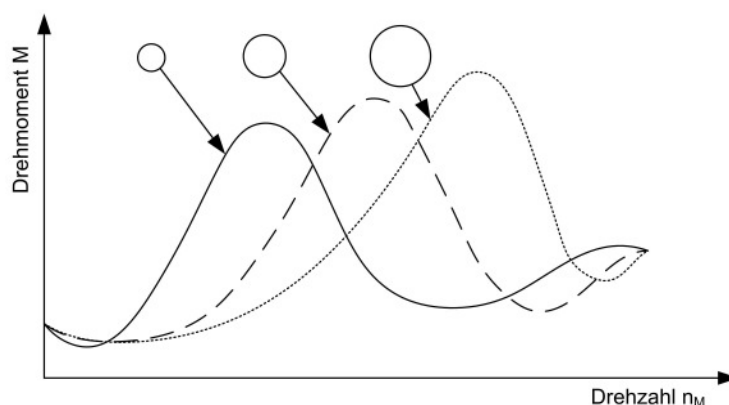
Das in den Luftfilter integrierte Filterelement dient hierbei der Reinigung der angesaugten Luft von Staubpartikeln, welche den Verbrennungsprozess in den Zylindern negativ beeinflussen würden. Im Anschluss an den Luftfilter folgt die Reinfluftleitung, welche verschiedene Sensoren wie zum Beispiel Luftmassen- oder Lufttemperaturmesser enthalten kann und dem Verteilervolumen (engl. Airbox) vorgelagert ist. Somit dient das Verteilervolumen, wie sich aus der Bezeichnung schließen lässt, der gleichmäßigen Verteilung der angesaugten Luft auf die einzelnen Ansaugstellen der Zylinder [5]. In der Tat kommt es jedoch zu Leistungsunterschieden zwischen den einzelnen Zylindern, welche auf Druckschwingungen innerhalb des Luftverteilers zurückgeführt werden können. Diese entstehen durch die Ansaugvorgänge der einzelnen Zylinder und sind daher von der Drehzahl und der Zündfolge abhängig, wodurch die Beseitigung der Leistungsunterschiede erschwert wird [5]. Das Verteilervolumen dient zudem als Zwischenspeicher der angesaugten Luft, wobei die Strömungsgeschwindigkeit der Luft reduziert wird, was in der Folge zu einem Druckanstieg führt. Diese Diffusorwirkung wird genutzt um eine bessere Zylinderfüllung des Motors zu erreichen und wirkt sich daher bei einem vorgeschriebenen Luftmengenbegrenzer vorteilhaft aus. Darüber hinaus hält der Unterteil des Verteilervolumens die abgestrahlte Wärme des Motors von der Ansaugluft fern [5]. Bei einigen Rennmotoren wird zudem die Einspritzung im Verteilervolumen verbaut, so dass sich die Einspritzdüsen vor den Saugrohren befinden. Da diese Anordnung jedoch recht aufwendig ist, wird die Einspritzung generell in die Saugrohre integriert, die das Verteilervolumen mit den einzelnen Zylindern verbinden. Abgesehen von der Einspritzung nehmen die Saugrohre zudem die Drosselorgane auf, welche in der Regel als Einzeldrosselklappenanlage ausgeführt werden.

Der Ansaugtrakt setzt sich somit zu einer komplexen Baugruppe aus verschiedenen Einzelkomponenten, deren jeweilige Modifikation zu einer Veränderung der Motorcharakteristik führt, zusammen. Hierbei kann durch die Saugrohrgestaltung eine im Verhältnis zum Gesamtsystem große Veränderung der Leistungscharakteristik des Motors erreicht werden. Beispielsweise wird bei langen Saugrohren eine gute Zylinderfüllung in niedrigen Drehzahlbereichen erreicht, wobei kürzere Rohrlängen zu einem verbesserten Drehmoment bei höheren Drehzahlen führen (Abbildung 2-2). Mit der Verschiebung des Drehmoments geht allerdings auch eine Veränderung des Drehzahlbandes einher, welches bei kurzen Saugrohren zwar breiter ausfällt, aber sich insgesamt auf einem niedrigeren Niveau befindet. Der Grund hierfür kann in den gasdynamischen Effekten innerhalb der Saugrohre gesehen werden, welche durch die periodische Anregung des Kolbens sowie durch die Eigenfrequenz des Systems induziert werden [6].



**Abbildung 2-2:** Drehmoment als Funktion der Saugrohlänge [7]

Obwohl sich theoretisch für jede Motordrehzahl eine optimale Saugrohlänge bestimmen lässt, bei der durch die entsprechende zeitliche Abstimmung der Ladungswechselvorgänge eine optimale Füllung des Brennraums erreicht wird, muss in der Praxis ein Kompromiss zwischen fülliger Leistungskurve und hoher Leistung bei Nenndrehzahl gefunden werden.[5], [7]. Zum Teil wird dies durch den Einsatz von Schaltsaugrohren erreicht, bei denen sich die Saugrohlänge in Abhängigkeit von Last und Drehzahl anpassen lässt. Abgesehen von der Saugrohlänge kann auch durch die Veränderung des Saugrohrdurchmessers der Leistungsverlauf des Motors variiert werden. Der generelle Zusammenhang zwischen Rohrdurchmesser und Drehmoment ist in Abbildung 2-3 dargestellt. Hier lässt sich erkennen, dass sich durch die Vergrößerung des Rohrdurchmessers das Drehmoment und somit die Leistung bei höheren Drehzahlen positiv beeinflussen lassen.



**Abbildung 2-3:** Drehmoment als Funktion des Rohrdurchmessers [5]

Im realen Motorbetrieb ist der Einfluss der Saugrohlänge und des Saugrohrdurchmessers allerdings vielschichtiger und wird zusätzlich durch Einflüsse anderer saugseitiger Parameter beeinflusst [6].



## 2.2 Aufladeverfahren

Bei der Verwendung einer Aufladung wird die Ladungsmenge der angesaugten Luft durch Vorverdichtung vergrößert, wodurch der effektive Mitteldruck gesteigert wird. Dadurch kann sowohl ein Drehmoment als auch Leistungssteigerung erreicht werden, aber auch eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasemissionen sind möglich [6]. Grundsätzlich lassen sich die verschiedenen Aufladungsverfahren dahingehend unterscheiden, ob die Aufladung mit oder ohne einen Verdichter erfolgt.

### 2.2.1 Aufladeverfahren ohne Verdichter

Die Aufladeverfahren ohne Verdichter gliedern sich in die Schwingrohr- und die Resonanzaufladung, wobei eine Steigerung des Luftaufwands nur mit Hilfe reiner gasdynamischer Effekte (dynamische Aufladung) erzielt wird

#### Schwingrohraufladung

Das Prinzip der Schwingrohraufladung beruht auf einer im Saugrohr ausgelösten Unterdruckwelle, welche durch den abwärts gehenden Kolben induziert wird und zunächst entgegen der Strömungsrichtung zum Verteilervolumen läuft. Erreicht die Unterdruckwelle den Ansaugtrichter des Saugrohrs, wird diese reflektiert und läuft als Überdruckwelle zurück. Dadurch kommt es zu einer Anhebung des Druckgefälles über dem Einlassventil, wodurch eine erhöhte Zylinderfüllung erreicht wird. Besonders wirkungsvoll ist dieser Effekt kurz vor dem Schließen des Einlassventils bei aufwärts gehendem Kolben, da hier das Ausschieben von Frischladung aus dem Brennraum zurück in das Saugrohr verhindert wird [5], [6].

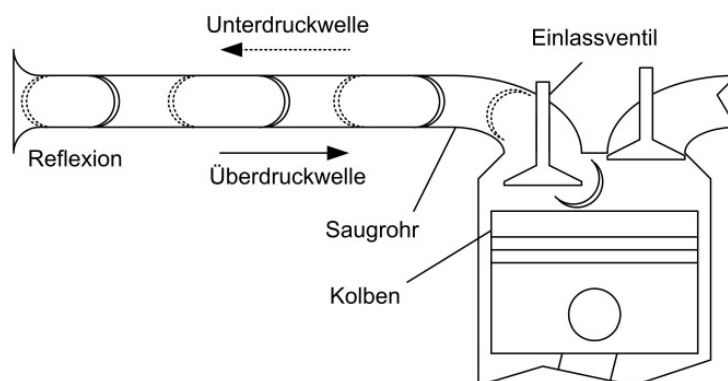
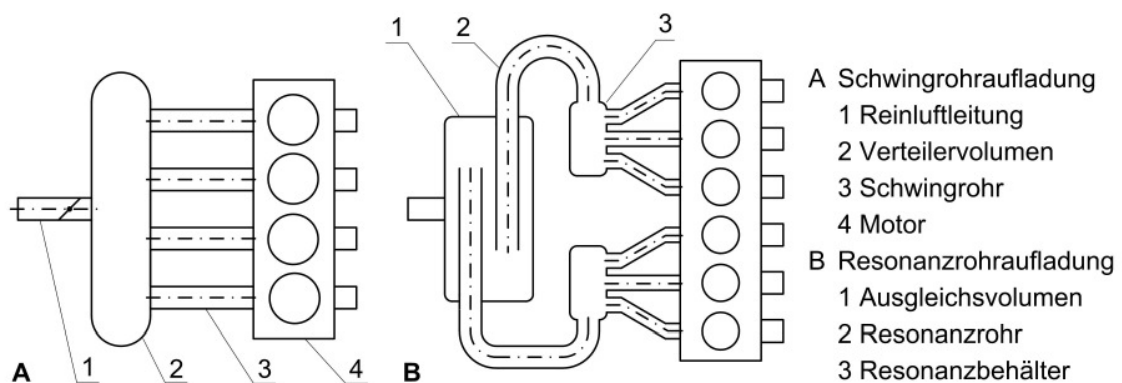


Abbildung 2-4: Prinzip der Schwingrohraufladung [6]

Der Vorteil der Schwingrohraufladung besteht darin dass keine zusätzlichen Aggregate oder Komponenten benötigt werden, um eine Aufladung zu erreichen (siehe Abbildung 2-5), da die Saugrohrlänge die den Schwingrohr effekt bestimmende Größe darstellt.

### Resonanzaufladung

Bei diesem Verfahren wird der Aufladeeffekt durch ein schwingungsfähiges Behälter-Rohr-System erzeugt. Hier sind die Zylinder über kurze Schwingrohre mit einem Resonanzbehälter verbunden, welcher zusammen mit zusätzlichen Resonanzrohren als Helmholtz-Resonator gegenüber der Atmosphäre oder einem Ausgleichsvolumen wirkt (siehe Abbildung 2-5) [5]. Ähnlich der Schwingrohraufladung wird durch die periodischen Saugzyklen eine Druckschwingung innerhalb des Behälters induziert, welche jeweils am Anfang und am Ende der Einlassphase zu einer Erhöhung des Druckgefälles zwischen Einlasskanal und Brennraum führt. Eine maximale Aufladung wird erreicht, sobald die Anregung durch die Zylinder mit der Eigenkreisfrequenz des Behälter-Rohr-Systems übereinstimmt [6]. Obwohl die Abstimmung der Eigenfrequenz auf eine bestimmte Drehzahl für nur einen Zylinder mit Saugrohr vergleichsweise einfach ist, wird dies mit zunehmender Anzahl an Zylindern komplizierter. Der Grund hierfür sind Überlagerungen der durch die Zylinder induzierten Wellen [6].

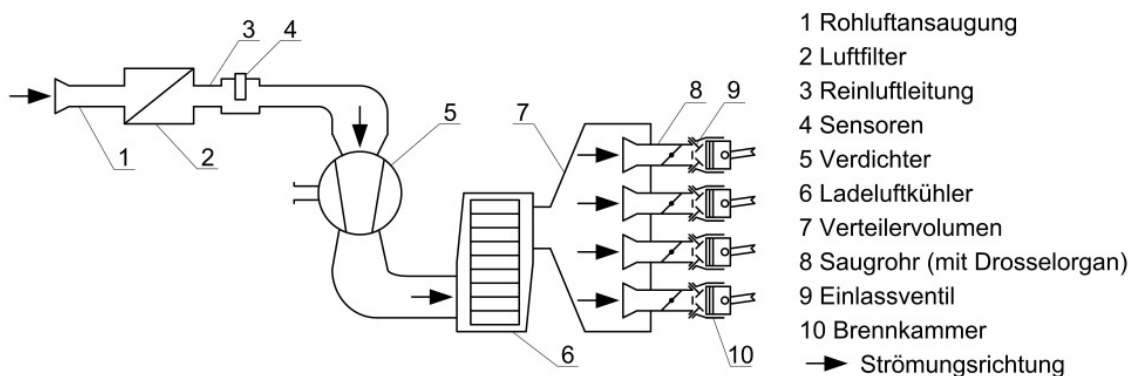


**Abbildung 2-5:** Schema der dynamischen Aufladeverfahren [6]

### 2.2.2 Aufladeverfahren mit Verdichter

Die Leistungssteigerung eines Motors mit Hilfe eines Verdichters bietet den Vorteil, dass bei gleicher Leistung kleinere Hubräume und damit Motoren mit geringeren Abmessungen eingesetzt werden können (Downsizing) [8]. Dadurch lässt sich eine kompaktere Bauweise (Packaging) des Fahrzeugs erreichen, als es bei einem leistungsgleichen Saugmotor realisierbar wäre. Alternativ zur Verringerung des Hubraums kann der Motor auch mit einer geringeren Drehzahl betrieben werden, was sich in der Folge günstig auf den mechanischen Wirkungsgrad auswirkt [5].

Durch die Verdichtung kommt es jedoch zu einer gleichzeitigen Temperaturerhöhung der Luft, wodurch die Steigerung der Luftdichte, das Ziel der Aufladung, zu einem Teil zunichte gemacht wird. Um diesem Effekt entgegenzuwirken werden Ladeluftkühler<sup>6</sup> zur Rückkühlung der verdichteten Luft eingesetzt. Die Anordnung innerhalb des Ansaugtraktes erfolgt hier zwischen Verdichter und Verteilervolumen (siehe Abbildung 2-6). Je nachdem, wie der Verdichter angetrieben wird, unterscheidet man zwischen der mechanischen und der Abgasturboaufladung [5].



**Abbildung 2-6:** Systemübersicht der Ansauganlage eines aufgeladenen Motors

#### Mechanische Aufladung

In diesem Fall wird ein Verdichter (Kompressor) direkt von der Kurbelwelle des Motors über Zahnräder, Ketten- oder Riementriebe angetrieben. Verwendung finden hierbei Rootsgebläse, Schraubenverdichter, Spirallader oder Radialverdichter, wobei letztere seltener eingesetzt werden [5]. Zum Teil gibt es auch Varianten bei denen der Lader über einen gesonderten Elektromotor angetrieben wird.

Durch die geringeren mechanischen und thermischen Verluste des aufgeladenen Motors erzielt dieser im Vergleich zu einem leistungsgleichen Saugmotor einen besseren Wirkungsgrad, obwohl ein Teil der Leistung zum Antrieb des

<sup>6</sup> Hierbei handelt es sich um Luft-Luft oder auch Wasser-Luft-Wärmetauscher

angeschlossenen Verdichters verwendet wird. Die Vorteile der mechanischen Aufladung bestehen darin, dass die Ladeaggregate in ihrem Aufbau relativ einfach sind und ein verzögerungsfreies Ansprechen auf Laständerungen erlauben [8]. Dem gegenüber stehen ein erhöhter Kraftstoffverbrauch und eine Beschränkung in der Positionierung des Laders am Motor aufgrund des Laderantriebs.

### **Abgasturboaufladung**

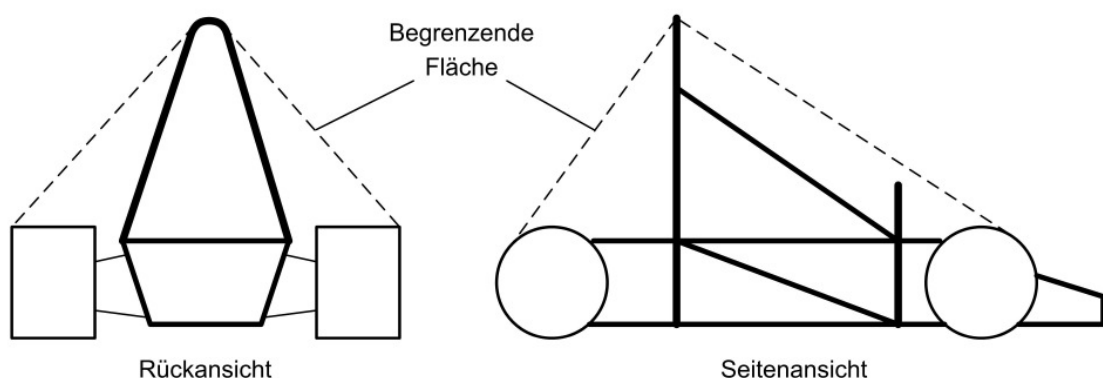
Bei der Abgasturboaufladung wird der Lader über eine sich im Abgasstrom befindlichen Turbine angetrieben. Diese nutzt einen Teil der Abgasenergie, welche sonst ungenutzt an die Umgebung abgeführt wird. Hierbei kann der Turbolader, welcher nur thermodynamisch mit dem Motor gekoppelt ist, sowohl den Druck als auch die Bewegungsenergie der Abgase als Energiequelle nutzen [9].

Dadurch lassen sich eine erhebliche Steigerung der Literleistung sowie ein fülligerer Drehmomentverlauf erreichen. Allerdings kommt es zu einem verzögerten Lastaufnahmeverhalten, da sich zunächst ein ausreichender Abgasstrom einstellen muss, um den gewünschten Ladedruck zu erzielen.

### 3 Konstruktionsanforderungen

Betrachtet man das Einsatzgebiet des zu entwickelnden Ansaugtraktes, so lässt sich unschwer feststellen, dass dieser eine Vielzahl von Erfordernissen erfüllen muss.

Die wesentlichste Anforderung an die Konstruktion stellt die Einhaltung des Reglements der Formula Student dar, dessen Erfüllung bei den Rennen durch Offizielle überprüft wird. In diesem Fall können auch nur geringe Verletzungen des Reglements dazu führen, dass dem Team die Teilnahme an den dynamischen Disziplinen verweigert wird. In Bezug auf den Ansaugtrakt muss daher die gesamte angesaugte Luft durch einen Durchflussbegrenzer (engl. Restrictor) geleitet werden, wodurch die Leistung des Motors begrenzt wird. Der Einbau des kreisförmigen Durchflussbegrenzers, welcher maximal einen Durchmesser<sup>7</sup> von 20mm besitzen darf und aus einem nicht elastischen Material sein muss, hat dabei zwischen dem Drosselorgan und dem Motor zu erfolgen. Die Betätigung des verwendeten Drosselmediums muss mechanischer Art sein, wobei zudem alle Vorrichtungen verboten sind, welche stromabwärts des Begrenzers eine Steuerung der angesaugten Luftmenge erlauben. Abgesehen davon muss der Ansaugtrakt fest mit dem Motorblock verbunden sein und sich innerhalb einer durch den hinteren Überrollbügel und den Rädern begrenzten Fläche befinden (siehe Abbildung 3-1). Dies gilt ebenfalls für die Komponenten der Einspritzung [1].



**Abbildung 3-1:** Bauraumvorgabe durch das Reglement [1]

Obwohl das Reglement hinsichtlich des Ansaugtrakts einige Restriktionen vorsieht, lässt es dennoch viele konstruktive Freiheiten. Zum Beispiel ist die Leistungssteigerung mit Hilfe von mechanischen Verdichtern erlaubt, sofern der Motor nicht schon seitens des Herstellers damit ausgerüstet ist.

<sup>7</sup> Der Durchmesser für Fahrzeuge die mit E-85 betrieben werden ist auf 19mm begrenzt.

Abgesehen von der obligatorischen Einhaltung des Reglements ist die Leistungssteigerung ein weiteres wichtiges Kriterium bei der anstehenden Konstruktion. Hierbei gilt es besonders das Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen zu erhöhen, um die Beanspruchung der Kupplung beim Anfahren und bei langsamen Kurvenfahrten zu minimieren. Dieser Punkt ist dahingehend von Bedeutung, da das Fahrzeug der vorangegangenen Saison aufgrund eines Kupplungsschadens ausschied. Zusätzlich dazu werden eine Erhöhung der Maximalleistung sowie eine Steigerung des Drehmoments über den gesamten Drehzahlbereich gefordert, wobei ein konstanter Drehmomentverlauf angestrebt wird. Zudem muss der Ansaugtrakt ein gutes Ansprechverhalten des Motors ermöglichen, um auf den kurzen und kurvenreichen Strecken konkurrenzfähig zu sein.

Um die vom Team angestrebte Gewichtsreduzierung des Rennwagens von 365kg auf 280kg in der aktuellen Saison zu erreichen, gilt es auch die Masse des Ansaugtraktes, welche sich auf 4,9kg inklusive Einspritzung beläuft, zu minimieren.

Eine weitere Anforderung besteht zudem darin, den Ansaugtrakt wartungsfreundlicher zu gestalten, da gerade beim harten Renneinsatz immer wieder kleinere Reparaturen oder Wartungsarbeiten am Fahrzeug durchgeführt werden müssen. Dies schließt sowohl eine einfache Zugänglichkeit von wichtigen Bauteilen (Einspritzung, Sensoren), als auch eine schnelle De- und Montage der einzelnen Komponenten, ein.

Abgesehen von diesen konstruktiven Gesichtspunkten muss zudem die Fertigung der einzelnen Komponenten mit einem vertretbaren zeitlichen und finanziellen Aufwand zu bewerkstelligen sein.

Ausgehend von den genannten Konstruktionsanforderungen lässt sich somit eine Anforderungsliste für die wichtigsten Merkmale des Ansaugtraktes erstellen.

**Tabelle 3-1:** Anforderungsliste

<b>Merkmal</b>	<b>Anforderungen</b>
Reglement	Durchflussbegrenzer, Bauraum, Steuerung
Leistung	Höheres Drehmoment bei niedrigeren Drehzahlen, Höhere Maximalleistung, konstanter Drehmomentverlauf, gutes Ansprechverhalten
Gewicht	Gewichtsreduzierung
Wartung	Einfache Zugänglichkeit und Montage der Bauteile
Fertigung	Akzeptable Fertigungsdauer, Verfügbarkeit der Materialien
Kosten	Möglichst geringe finanzielle Aufwendungen

## 4 Konstruktion des Ansaugtraktes

Basierend auf der erstellten Anforderungsliste wird zunächst ein Konzept für die gesamte Baugruppe entwickelt. Hierbei werden verschiedene Festlegungen getroffen, welche sowohl das Aufladungsprinzip und die Anordnung und Positionierung der einzelnen Bauteile innerhalb des Fahrzeugs betreffen als auch die Auswahl eines geeigneten Materials. Ausgehend von diesen Festlegungen werden im Anschluss die einzelnen Bauteile ausgelegt und konstruiert, beziehungsweise die für die Anwendung passenden Kaufteile ausgewählt. Am Ende des Konstruktionsprozesses werden dann die einzelnen Komponenten zu einer Baugruppe zusammengefügt.

### 4.1 Konzeption

Den Ausgangspunkt für die Konzeption des Ansaugtraktes bildet der Motor. Es handelt sich hierbei um einen wassergekühlten Reihenvierzylinder Saugmotor einer Honda CBR 600 RR PC 37. Dieses Triebwerk besitzt einen Hubraum von 599 cm<sup>3</sup> und obwohl zu Beginn der Neukonstruktion des Rennwagens auch andere Motoren diskutiert wurden, fiel die Wahl erneut auf diesen Motor, da er einige wesentliche Vorteile besitzt. Durch die vier Zylinder weist der Motor im Vergleich zu Konzepten mit weniger Zylindern einen ruhigen Lauf auf. Außerdem ist der Motor sehr kompakt und besitzt ein in den Motorblock integriertes Getriebe, welches über einen Riemen- oder Kettentrieb leicht mit der Antriebswelle verbunden werden kann. Generell sind für den Renneinsatz keine Modifikationen (Verkleinerung des Hubraums) am Motor nötig und seine weit verbreitete Verwendung in der Formula Student birgt zusätzliche Vorzüge. So herrscht mittlerweile ein relativ umfangreiches Wissen über die Anwendung dieses Motors im Bereich der Formula Student und bei einem Schaden während der Rennveranstaltungen können leicht Ersatzteile von anderen Teams beschafft beziehungsweise ausgeliehen werden.

Die serienmäßige Leistung des Motors beträgt laut Datenblatt 88,3 kW (120 PS), wobei dieser Wert jedoch durch den vorgeschriebenen Durchflussbegrenzer gemindert wird. Zur Feststellung, ob die Verwendung einer Aufladung gerechtfertigt ist, um eine Leistungssteigerung laut Anforderungsliste zu erreichen, erscheint es zunächst sinnvoll, die Leistung des Motors bei Verwendung eines Durchflussbegrenzers zu ermitteln. Geht man davon aus, dass die Randbedingungen wie Umgebungsdruck und Dichte der Umgebungsluft konstant sind, wird der maximal mögliche Luftmassenstrom allein durch die Fläche des engsten Querschnitts bestimmt, denn der höchste

Luftdurchsatz wird erreicht, sobald Schallgeschwindigkeit im Drosselquerschnitt auftritt. Ausgehend von diesem Zusammenhang lässt sich die theoretische Maximalleistung für den Motor mit Luftmengenbegrenzer näherungsweise wie folgt bestimmen [5].

$$P_{e,th,max} = \eta_e \cdot \dot{m}_{th,max} \cdot \frac{H_u}{\lambda \cdot L_{min}}$$

$$\dot{m}_{th,max} = 240 \cdot A_{Rs} \quad A_{Rs} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{Rs}^2 \quad d_{Rs} = 0,02m$$

$$\dot{m}_{th,max} = 0,0754 kg / s$$

$$P_{e,th,max} = 0,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,0754 kg / s \cdot \frac{43170 kJ / kg}{0,9 \cdot 14,7}$$

$$P_{e,th,max} = 67,6 kW$$

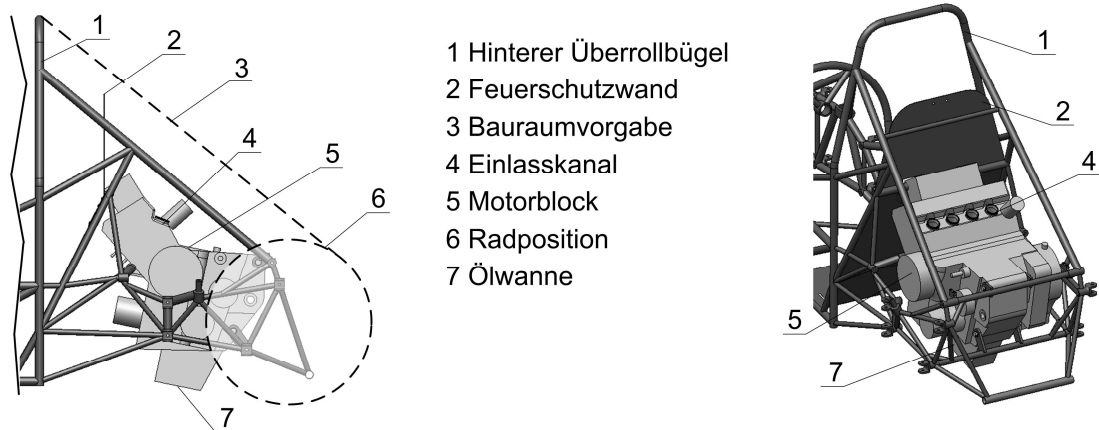
Die tatsächlich mögliche Leistung liegt aufgrund mechanischer Verluste während des Ansaugvorgangs jedoch unter diesem Wert. Dennoch lässt sich klar erkennen, dass die erreichbare Leistung deutlich über dem in der letzten Saison erreichten Wert von 46 kW (63 PS) liegen muss. Somit lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass das Potential des Motors mit Durchflussbegrenzer nicht ausgeschöpft wurde. Die Verwendung einer Aufladung scheint daher nur gerechtfertigt, wenn sie mit einem geringen konstruktiven und finanziellen Aufwand realisiert werden kann. Ausgehend von dem Kapitel über die Grundlagen von Ansauganlagen, zeigt sich, dass kein Aufladeverfahren, welches auf einen Verdichter zurückgreift, diese Kriterien erfüllt. Denn um diese Art der Aufladung zu realisieren sind immer zusätzliche Bauteile notwendig, welche sowohl die Komplexität als auch die Kosten des Ansaugtraktes steigern. Eine günstigere Form der Leistungssteigerung stellt in diesem Fall die Schwingrohraufladung dar, da hier die Aufladung über die Länge der Saugrohre erreicht wird, welche ohnehin Bestandteil des zu entwickelnden Systems sind. So wird diese Art der Leistungssteigerung gewählt, um die Maximalleistung des Motors entsprechend den Anforderungen anzuheben.

Obwohl keine zusätzlichen Bauteile verwendet werden müssen, ist der zur Verfügung stehende Bauraum dennoch eingeschränkt. Durch die tief liegende Ölwanne<sup>8</sup> des Motors steht über den Einlasskanälen nur wenig Platz zur Verfügung und die Anforderungen des Reglements tragen zusätzlich zu einer Einschränkung des Bauraums bei (siehe Abbildung 4-1). Dem gegenüber steht die Forderung die Komponenten des Ansaugtraktes in diesen Bereich des Rennwagens zu integrieren.

---

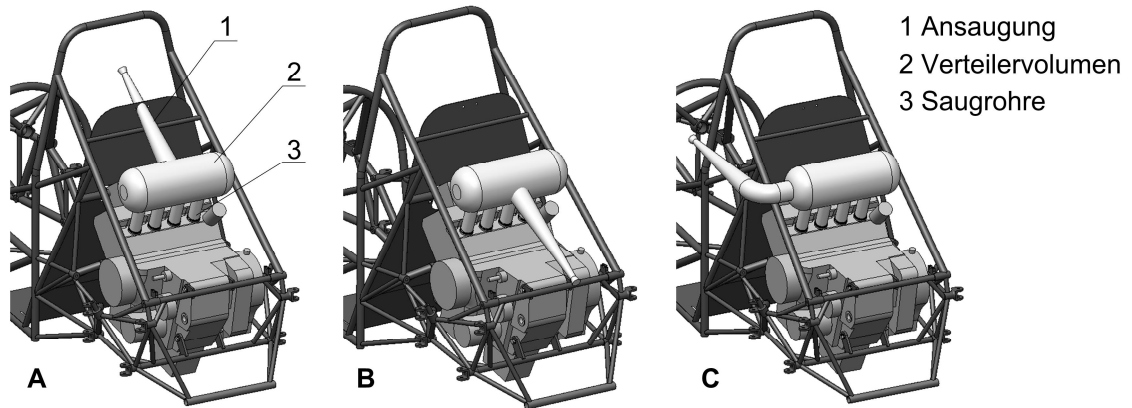
<sup>8</sup> Dieses Problem könnte zukünftig durch eine Trocken-Sumpf-Schmierung behoben werden.





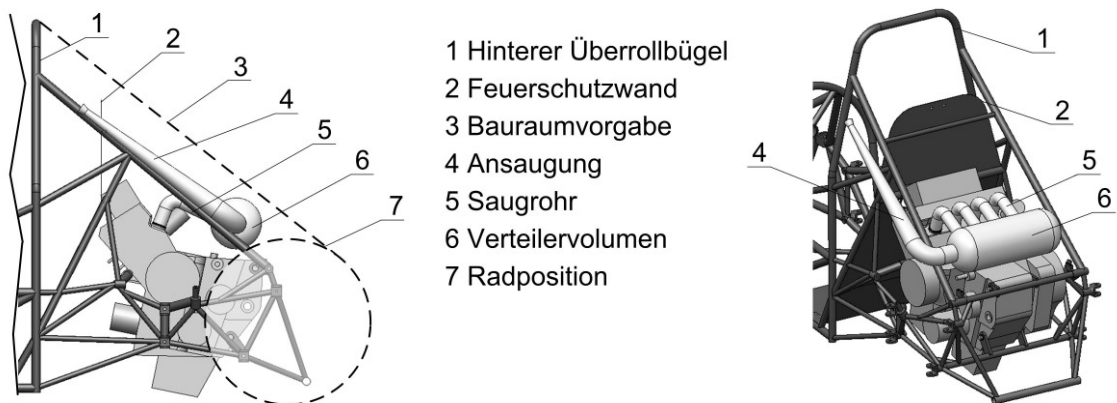
**Abbildung 4-1:** Seitliche und isometrische Ansicht des Bauraums

Um diese Problematik zu lösen, erscheint es sinnvoll sich zunächst mit den Lösungen anderer Teams zu beschäftigen, zumal die Einbaukonzepte anderer Rennserien (Formel 3) aufgrund des quer eingebauten Motors nicht adaptiert werden können. Generell lassen sich in der Formula Student drei grundsätzliche Lösungsansätze für die Positionierung des Ansaugtraktes finden. Bei der am häufigsten zu findenden Methode befindet sich das Verteilervolumen mittig über den Einlasskanälen und ist mit diesen über gerade Saugrohre verbunden. Die Ansaugung erfolgt hierbei hinter dem Kopf des Fahrers. Obwohl dadurch unnötige Umlenkungen vermieden werden und vergleichsweise kühle Luft angesaugt wird, behindert in diesem Fall die Feuerschutzwand die Ansaugung. Zudem können bei dieser Variante nur kurze Saugrohre verwendet werden, was einer gezielten Auslegung der Motorcharakteristik entgegensteht. Eine andere Möglichkeit stellt die Ansaugung der benötigten Luft am unteren hinteren Fahrzeugrand dar, wobei die Reinfluftleitung nach oben zum Verteilervolumen geführt wird und damit die Problematik der Feuerschutzwand nicht mehr ins Gewicht fällt. Allerdings führt die Ansaugung von bodennaher wärmerer Luft zu einem nicht kompensierbaren Leistungsverlust und zudem kann auch hier die Saugrohrlänge nur in engen Grenzen verändert werden. Vorteilhaft bei dieser Variante ist jedoch, dass sich der Massenmittelpunkt zu einem geringeren Niveau verschiebt. Eine Kombination dieser beiden Varianten stellt die seitliche Ansaugung dar, wodurch das Ansaugen warmer Luft vermieden wird und keine Probleme mit der Feuerschutzwand entstehen. Allerdings lässt sich auch hier die Saugrohrlänge nur geringfügig ändern und auch der Massenmittelpunkt liegt auf einem relativ hohen Niveau. Die Grundproblematik scheint in der Anordnung des Verteilervolumens zu liegen, welches sich stets über den Einlasskanälen befindet (siehe Abbildung 4-2).



**Abbildung 4-2:** Ansaugvarianten in der Formula Student

Bei einer Verschiebung dieses Bauteils nach hinten in den Bereich des Getriebes ließen sich die Saugrohlängen deutlich besser variieren und der Schwerpunkt ließe sich merklich absenken. In Kombination mit einer seitlichen Ansaugung am oberen Teil des Überrollbügels ließen sich zudem die Einschränkungen durch die Feuerschutzwand umgehen und vergleichsweise kühle Luft ansaugen. Obwohl die Vorteile bei dieser Variante überwiegen, ist es wahrscheinlich, dass durch die seitliche Ansaugung eine ungleichmäßige Leistungsabgabe der Zylinder eintritt. Inwieweit sich dieser Effekt auswirkt, muss die praktische Erprobung zeigen.



**Abbildung 4-3:** Einbaukonzept für den Ansaugtrakt

Um das Gewicht des Ansaugtraktes gering zu halten, scheint der Einsatz von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (engl. Carbon) durchaus gerechtfertigt. Aus diesem Werkstoff lassen sich äußerst leichte sowie belastbare Teile herstellen, deren Formgebung zudem kaum Einschränkungen unterliegt. Darüber hinaus weisen die Bauteile eine gute Beständigkeit gegen Wärme auf und sind unempfindlich gegen Benzin. Außerdem können andere Materialien (Aluminium) mit diesen Komponenten verklebt werden. Dadurch lässt sich auch die Forderung nach einem sehr genau

gefertigten Durchflussbegrenzer erfüllen. Die Verwendung von Aluminium für die Herstellung des Ansaugtraktes scheint wenig sinnvoll, da sich das Schweißen von dünnen, leichten Blechen schwierig gestaltet. Abgesehen davon lassen sich kaum fließende Formen realisieren, wodurch eine erhöhte Wandreibung entsteht.

## 4.2 Saugrohre

Betrachtet man das Gesamtsystem des Ansaugtraktes ist die Auslegung des Saugrohrs von entscheidender Bedeutung für die Motorcharakteristik. Im vorliegenden Fall liegt das Bestreben darin, das Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen zu erhöhen, eine höhere Maximalleistung zu erreichen und dabei einen konstanten Drehmomentverlauf des Motors zu garantieren.

Den Ausgangspunkt für die Auslegung bildet hierbei das Leistungs-/Drehmoment Diagramm (siehe Abbildung 4-4 bzw. Anlage 1) der letzten Saison, welches während der Veranstaltung am Hockenheimring aufgezeichnet wurde. Bei diesem Ansaugtrakt betrug die Länge der Saugrohre 175 mm einschließlich des Einlasskanals des Motorblocks. Ausgehend von diesem Diagramm ist das fehlende Drehmoment im unteren Drehzahlbereich gut zu erkennen sowie die geringe Maximalleistung mit Erreichen der kritischen Drehzahl von  $11500 \text{ min}^{-1}$ , bei der die Zylinderfüllung genau dem maximalen Luftmassenstrom entspricht. Eine Steigerung der Leistung über diese Drehzahl hinaus ist aufgrund des Luftmengenbegrenzers nicht möglich.

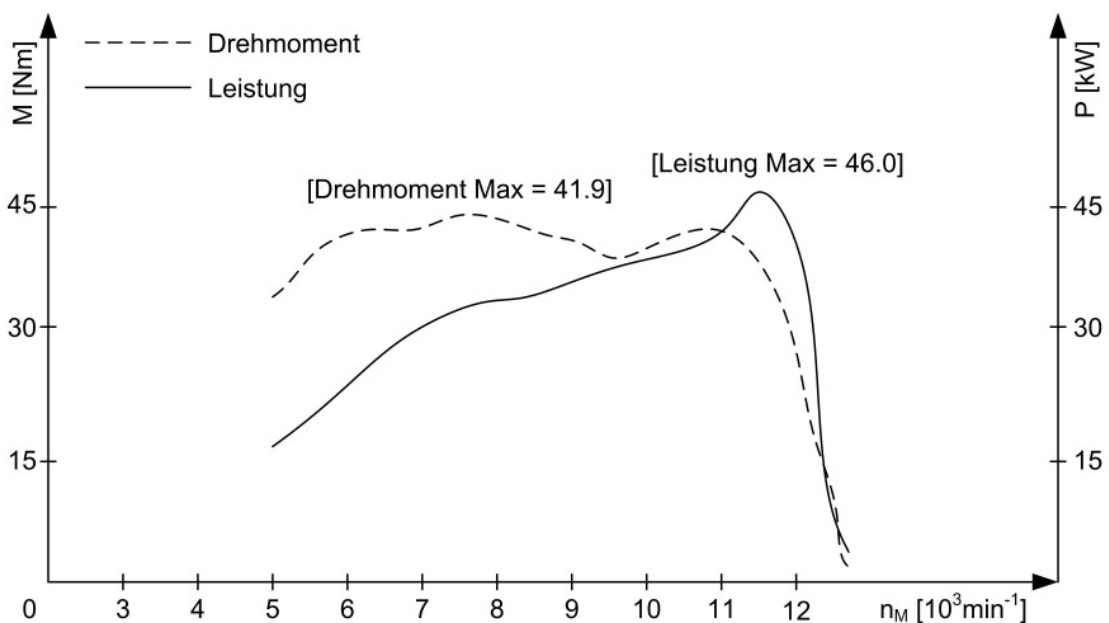
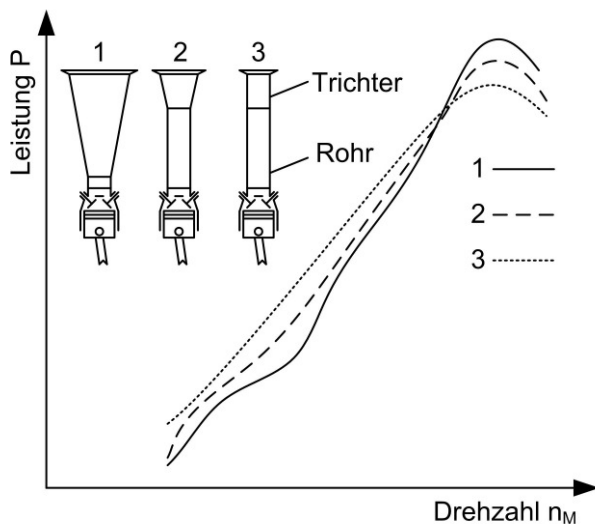


Abbildung 4-4: Leistungs-/Drehmoment Diagramm 2008

Ausgehend von den im zweiten Kapitel dargelegten Erkenntnissen ist bekannt, dass durch die Länge als auch den Saugrohrdurchmesser der Leistungs- und Drehmomentverlauf beeinflusst werden kann. Der Rohrdurchmesser wird in dem vorliegenden Fall dem Durchmesser des Einlasskanals (38,4 mm) angeglichen, da ein gerader Rohrverlauf einen günstigen linearen Leistungsverlauf ergibt (siehe Abbildung 4-5).



**Abbildung 4-5:** Ansaugungsgestaltung (Trichter, Rohr) als Funktion der Leistung [5]

Obwohl eine Verringerung des Rohrquerschnitts von Vorteil wäre, um den Luftaufwand und damit die Leistung bei niedrigen Drehzahlen zu steigern (siehe Abbildung 2-3), ist dies schwer umsetzbar, da hierzu der Einlasskanal des Motors verengt werden müsste. Die vorgesehene Verschiebung des Drehmoments kann somit nur über eine Verlängerung des Saugrohrs erreicht werden (siehe Abbildung 2-2). Um gleichzeitig eine Steigerung der Maximalleistung zu bewerkstelligen, wird die Länge so gewählt, dass eine Aufladung des Motors mittels des Schwingrohr effekts erzielt wird.

Die Zeit, welche die durch den Ansaugvorgang induzierte Druckwelle für einen Hin- und Herlauf im Saugrohr benötigt, kann wie folgt beschrieben werden [6].

$$t = \frac{2 \cdot L_{Saug}}{a_{Welle}}$$

Ausgehend von der Einlassdauer (von EÖ bis ES), die durchschnittlich ein Drittel einer Motorumdrehung beträgt, ergibt sich die optimale Saugrohrlänge, bei der ein Aufladungseffekt auftritt, wie folgt [6].

$$t \approx \frac{1}{3 \cdot n_M} \quad L_{Saug} \approx \frac{a}{6 \cdot n_M}$$

Da sich die Druckwelle annähernd mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet, kann durch die Festlegung der Drehzahl, bei welcher der Luftaufwand maximal sein soll, die Saugrohrlänge berechnet werden. Die Festlegung der Drehzahl erfolgt in Verständigung mit den Entwicklern der Antriebseinheit, da Antrieb und Motor später eine funktionierende Einheit im Fahrzeug bilden müssen. Hierbei ist zu beachten, dass eine gute Beschleunigung sowie eine den Anforderungen entsprechende Endgeschwindigkeit erreicht werden kann. Ausgehend von einem durch die Teammitglieder der Antriebsgruppe entwickelten Gangdiagramm wird die Drehzahl, bei der die Maximalleistung erreicht werden soll, auf  $8000 \text{ min}^{-1}$  festgelegt. Dadurch lässt sich folgende Saugrohrlänge bestimmen (siehe Anlage A.3).

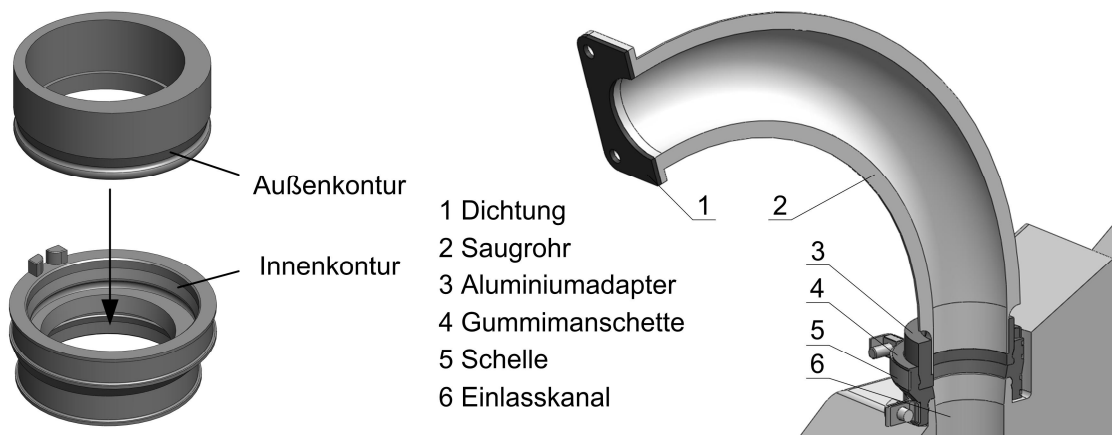
$$L_{Saug} \approx \frac{343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{6 \cdot 8000 \cdot \text{min}^{-1}}$$
$$L_{Saug} \approx \frac{343 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}{6 \cdot 133,3 \cdot \text{s}^{-1}}$$
$$L_{Saug} \approx 428,8 \text{ mm}$$

Der Wert des tatsächlichen Saugrohrs ist jedoch geringer, da sich der berechnete Wert auf den Einlasskanal, Dichtungselemente, Saugrohr und Ansaugtrichter aufteilt. Die Längen der entsprechenden Bauteile wurden hierbei iterativ während des Konstruktionsprozesses ermittelt oder waren vorgegeben (Einlasskanal).

Einlasskanal:	96 mm
Dichtungselemente:	6 mm
Saugrohr:	265,5 mm
Ansaugtrichter:	61,3 mm

Nachdem die Länge des Saugrohrs näherungsweise ermittelt wurde, war es möglich, das Saugrohr mit Hilfe der CAD Software Solidworks zu entwerfen. Nützlich erwies sich dabei das bereits vorhandene CAD Modell des Motors, welches dennoch geringfügig modifiziert werden musste, um den Anforderungen gerecht zu werden. Die Konstruktion war abgesehen von den jeweiligen Anschlussstellen relativ schnell zu bewerkstelligen.

In der Originalkonfiguration des Motors wird die Verbindung der Saugrohre zum Motor über Gummimanschetten, welche eine nutenartige Innenkontur aufweisen, bewerkstelligt (siehe Abbildung 4-6). Dies führt zu dem Problem, dass aufgrund des vorgesehenen Materials die passende Außenkontur nur sehr schwer aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen herzustellen ist. Die Lösung bietet hier ein Drehteil aus Aluminium, welches das Pendant zu der Gummimanschette bildet und mit dem CFK Saugrohr verklebt wird. Der Anschluss zum Verteilervolumen wird über einen Flansch mit Hilfe einer Dichtung realisiert, wobei der Gesamtaufbau in der folgenden Abbildung dargestellt ist.



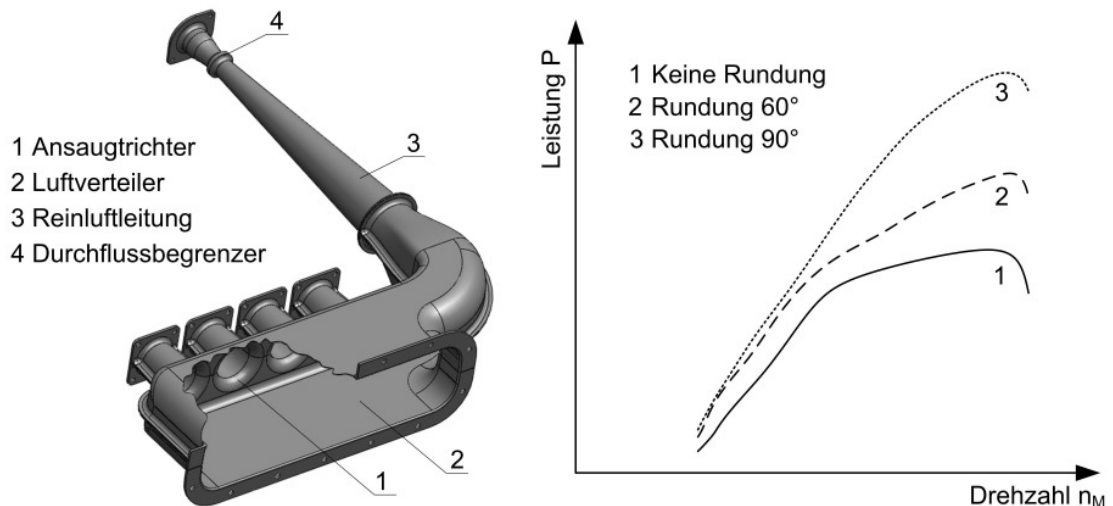
**Abbildung 4-6:** Schnittdarstellung und Gesamtaufbau eines Saugrohrs

### 4.3 Verteilervolumen

Entwickelt man den Ansaugtrakt vom Motor aus, folgt auf die Saugrohre das Verteilervolumen. Dieses wird ausgehend vom Einbaukonzept über dem Motor im Bereich des Getriebes positioniert und über Flansche mit den Saugrohren verbunden. Obwohl das Verteilervolumen an sich nur ein Bauteil darstellt, lässt es sich in vier verschiedene Bereiche wie Ansaugtrichter, Luftverteiler, Reinfluftleitung und Restriktor unterteilen (siehe Abbildung 4-7).

#### Ansaugtrichter

Der Gestaltung der Ansaugtrichter ist hierbei große Bedeutung beizumessen, da an dieser Stelle des Ansaugtraktes (abgesehen vom Luftfilter) die ersten Defizite entstehen können, welche nicht mehr kompensiert werden können [5]. Da die Luft überwiegend seitlich einströmt, ist es erforderlich, den Einlass des Ansaugtrichters mit einer Rundung auszuführen, die mindestens  $90^\circ$  zur Trichterachse misst (siehe Abbildung 4-7).



**Abbildung 4-7:** Verteilervolumen und Auswirkung der Ansaugtrichtergestaltung [5]

Die Begutachtung des alten Verteilervolumens hat gezeigt, dass dieser Aspekt nicht beachtet wurde, wodurch sich zu einem gewissen Teil die geringe Leistung (siehe Abbildung 4-4) des Vorjahresmodells erklären lässt. Der Rundungsradius des Ansaugtrichters sollte hierbei mindestens ein Viertel des mittleren Strömungsdurchmessers betragen [5]. Demnach lässt sich der benötigte Rundungsradius wie folgt bestimmen.

$$r_{\min} = 0,25 \cdot d_{\text{Saug}}$$

$$r_{\min} = 0,25 \cdot 38,4 \text{ mm}$$

$$r_{\min} = 9,6 \text{ mm}$$

$$r_{\text{gewählt}} = 11 \text{ mm}$$

Um mögliche Fertigungstoleranzen zu kompensieren, wird der Radius mit 11mm ausgeführt. Abgesehen vom Einlass des Ansaugtrichters wirkt sich überdies der Verlauf des Trichters bis zum Saugrohr auf die Maximalleistung aus. Daher wird ausgehend von Abbildung 4-5 ein sich verjüngender Verlauf des Trichters zum Saugrohr gewählt (Variante 2). Durch die Kombination einer Kegelform des Ansaugtrichters sowie der Zylinderform des Saugrohrs ergibt sich ein brauchbarer Kompromiss aus linearem Leistungsverlauf und einer hohen Maximalleistung.

### Luftverteiler

Die Formgebung des Luftverteilers resultiert hauptsächlich aus den Bauraumvorgaben des Reglements. Dies besagt, dass sich keine Teile des Ansaugtraktes außerhalb der zwischen dem Überrollbügel und den Rädern begrenzten Fläche befinden dürfen (siehe Abbildung 3-1). Durch diese Forderung wird die Bauraumhöhe des Luftverteilers deutlich eingeschränkt und die Problematik der hohen Ölwanne des Motors kommt an dieser Stelle voll zum Tragen. Um diese Schwierigkeit zu lösen, wird eine flache Form des Luftverteilers gewählt, indem sich die Höhe an dem Durchmesser des Ansaugtrichters orientiert. Um ein ausreichendes Luftvolumen zur Versorgung des Motors zu erreichen, sollte das Mindestvolumen der Airbox generell das 1,5 fache des zu versorgenden Hubraums betragen.

$$V_{Air,min} = (V_h \cdot z) \cdot 1,5$$

$$V_{Air,min} = (149,75 \cdot 10^{-3} dm^3 \cdot 4) \cdot 1,5$$

$$V_{Air,min} = 0,898 dm^3$$

$$V_{Air,min} \approx 0,9 dm^3$$

Allerdings konnte durch Gespräche mit Juroren der Formula Student festgestellt werden, dass sich in dieser Rennserie ein Volumen von 3l bis 4l als sehr günstig erwiesen hat. Ausgehend davon wird die Länge des Luftverteilers so gewählt, dass ein Volumen von 3,9 Litern erreicht wird. Die Verbindung des Volumens mit der Reinluftleitung erfolgt seitlich, wodurch eine Veränderung des runden Querschnitts der Leitung zum rechteckigen Querschnitt des Luftverteilers erfolgt.

### Reinluftleitung

Die Gestaltung der Reinluftleitung erfolgt als Lavaldüse<sup>9</sup>. Der Druck in Strömungsrichtung kann somit erhöht werden, was in der Folge zu einer Verbesserung des effektiven Mitteldrucks führt. Hier verengt sich der Querschnitt der Düse zunächst trichterförmig vom Einlass ausgehend bis zum engsten Durchmesser, welcher in diesem Fall der Durchflussbegrenzer darstellt (siehe Abbildung 4-8). Danach weitet sich die Düse wieder auf, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit der Luft verzögert wird, was zu einem Druckanstieg führt (Diffusorwirkung) [10]. An dieser Stelle ist jedoch darauf zu achten, dass der Öffnungswinkel nicht zu groß ist, damit es nicht zu einer Ablösung der Strömung von der Wand kommt. In diesem Falle würden die

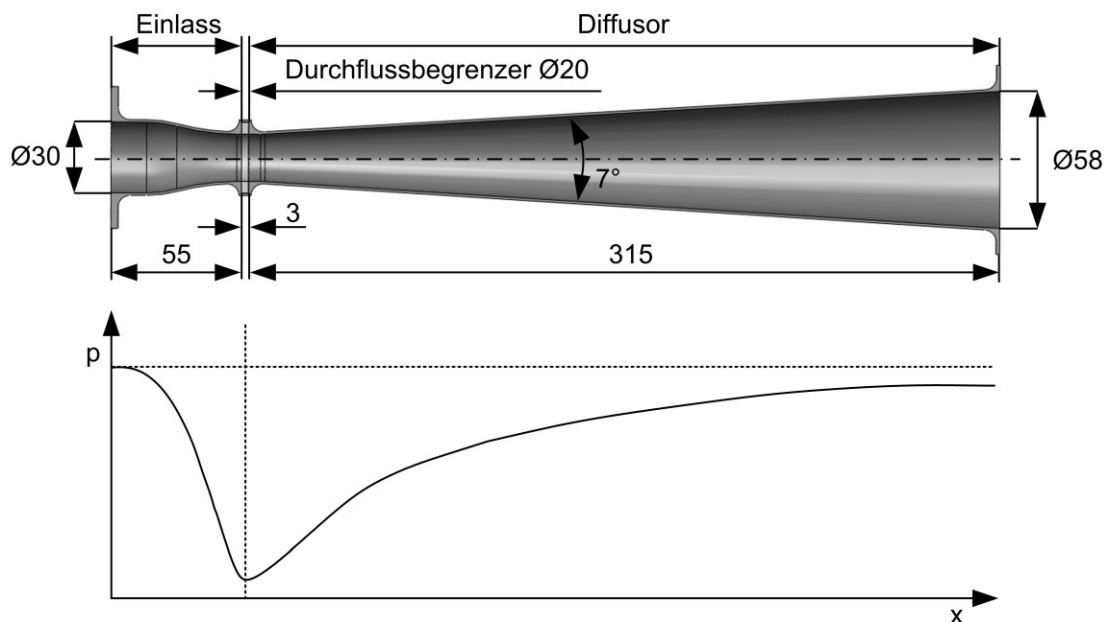
---

<sup>9</sup> Entwickelt von Carl Gustaf de Laval (1845 - 1913), schwedischer Ingenieur



entstehenden Verwirbelungen zu einem hohen Energieverlust der Luft führen, wodurch der Druck am Auslass der Düse trotz der Verzögerung der Luft sinken würde [10]. Der Druckanstieg ist zudem vom Querschnitt am Auslass abhängig, welcher in jedem Fall größer als der Querschnitt am Einlass sein muss, um eine Diffusorwirkung zu erreichen. Je geringer dabei das Verhältnis zwischen dem Einlass- und Auslassquerschnitt ist desto höher ist der resultierende Druckanstieg.

Generell hat sich bei der Auslegung der Lavaldüse ein Öffnungswinkel von  $6^\circ$  bis  $7^\circ$  bewährt, wobei der Diffusor eine Länge zwischen 200mm bis 300mm aufweisen sollte. Der Querschnitt des Drosselorgans sollte idealerweise zwischen 30mm und 40mm betragen, wonach das maximale Querschnittsverhältnis 0,8 beträgt. Um einen möglichst hohen Druckanstieg zu erreichen, wird die Lavaldüse daher wie folgt ausgeführt.



**Abbildung 4-8:** Abmessungen der Reinluftleitung und schematischer Druckverlauf

### Durchflussbegrenzer

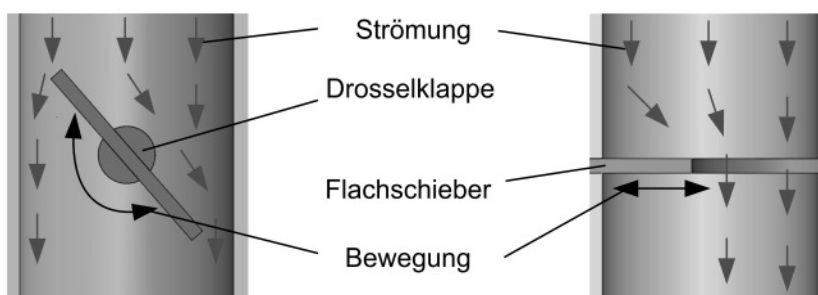
Der Restriktor darf ausgehend vom Reglement nicht verformbar sein und maximal einen Durchmesser von 20mm aufweisen, wobei dieser Umstand bei der technischen Abnahme der Fahrzeuge mit einer Grenzlehre überprüft wird. Dies stellt insofern ein Problem dar, da faserverstärkte Kunststoffe bei geringen Wandstärken durchaus eine gewisse Elastizität besitzen und zudem durch den Herstellungsprozess Schrumpfungen auftreten können. Um dennoch einen Durchflussbegrenzer mit einer hohen Maßhaltigkeit zu realisieren, wird an der entsprechenden Stelle der Reinluftleitung ein dünner (3mm) Aluminiumring einlaminieren.

## 4.4 Drosselelement

Das Drosselorgan dient der Laststeuerung, wobei durch die Verminderung des Ansaugquerschnitts die Gemischzufuhr zum Motor beeinflusst wird. Dabei wird der Einlass bei Volllast vollständig freigegeben und bei Teillast gedrosselt. Je näher das Drosselorgan am Motor positioniert wird, desto spontaner spricht der Motor auf Gaswechsel an. Daher wird bei Rennmotoren in der Regel eine Einzeldrosselanlage verwendet, da auf diese Weise das Drosselorgan direkt am Motoreinlass platziert werden kann [5]. Dieser Anordnung steht jedoch das Reglement entgegen, welches die Positionierung des Drosselmediums vor dem Restriktor fordert, wodurch grundsätzlich das Ansprechverhalten verschlechtert wird. Um dennoch ein akzeptables Ansprechverhalten des Motors zu gewährleisten, ist die Wahl eines geeigneten Drosselelements ausschlaggebend. Als die günstigsten Varianten haben sich von den verschiedenen Möglichkeiten die Gemischmenge zum Brennraum zu beeinflussen Drosselklappen und Flachschieber erwiesen.

Vergleicht man diese Drosselelemente miteinander, so kann bei der Drosselklappe von einem einfachen Aufbau gesprochen werden, da hier die Klappe praktisch frei im Ansaugkanal angeordnet ist. Dadurch ist kein aufwendiges Gehäuse notwendig wie etwa bei Flach- oder Drehschiebern. Zudem wird durch die Bauform der Drosselklappe das Ansprechverhalten vorteilhaft unterstützt, da diese schon bei einem kleinen Öffnungswinkel viel Ansaugquerschnitt freigibt [5]. Ungünstig sind jedoch die Beeinträchtigung der Strömung bei voller Öffnung sowie die Reduzierung des freien Strömungsquerschnitts durch die projizierte Klappenwellenfläche. Dieser Einfluss lässt sich jedoch durch die Wahl einer geeigneten Drosselklappe minimieren.

Im Gegensatz dazu gibt der Flachschieber bei Volllast den Strömungsquerschnitt vollständig frei, wodurch der Luftdurchfluss nicht behindert wird. Allerdings steht diesem Vorteil ein hohes Systemgewicht aufgrund des Gehäuses gegenüber. Zudem sind Flachschieberanlagen im Rennsport weniger verbreitet, weshalb für den vorliegenden Fall ein Flachschieber selbst entwickelt und gefertigt werden müsste.

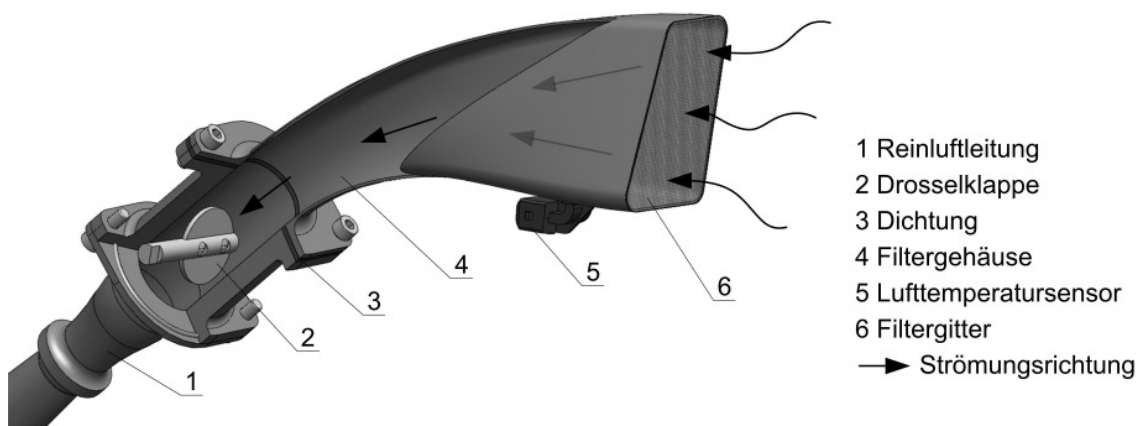


**Abbildung 4-9:** Funktionsprinzip von Drosselklappe und Flachschieber

Im Hinblick auf die aufwendige Entwicklung und Herstellung einer Flachschieberanlage wird die Verwendung einer Drosselklappe favorisiert. In diesem Fall wird eine Drosselklappe der Firma Jenvey Dynamics gewählt, welche kompakte Abmaße und ein relativ geringes Gewicht aufweist. Der Drosselklappendurchmesser beträgt 30mm und ermöglicht somit einen einfachen Anschluss an die Reinluftleitung und eine gute Steuerung des dem Motor zugeführten Gemischs. Außerdem ist der Strömungsquerschnitt bei Vollast trotz der projizierten Klappenwellenfläche größer als der Restriktorquerschnitt. Dies ist wichtig, damit die Drosselklappe die Strömung nicht stärker begrenzt als der Durchflussbegrenzer. Die Regelung der Drosselklappenstellung erfolgt in diesem Fall, wie vom Reglement vorgeschrieben, über einen Bowdenzug.

## 4.5 Luftfilter

An die Drosselklappe schließt sich der Luftfilter an (siehe Abbildung 4-10), wobei der Einlass in Fahrtrichtung ausgerichtet ist und sich auf Höhe des Fahrerkopfs befindet. Dadurch ist es möglich, vergleichsweise kühle Luft anzusaugen, was sich positiv auf die Leistung auswirkt, da mit der kühleren Luft auch mehr Luftmasse und somit mehr Sauerstoff in den Brennraum gelangt [5]. Der Luftfilter besteht in diesem Fall aus einem Gehäuse sowie einem Filtergitter und einer Dichtung. Hierbei dient das Gehäuse der Strömungsführung und der Aufnahme des Lufttemperatursensors, welcher zur Steuerung des Motors notwendig ist. Das Filtergitter befindet sich direkt am Einlass des Gehäuses und dient dem Abscheiden von groben Schmutzpartikeln, welche durch den Ansaugvorgang in den Ansaugtrakt gelangen könnten, was in der Folge zu Schäden am Motor führen würde. Zudem erfolgt durch das Gitter eine Laminarisierung der angesaugten Luft.

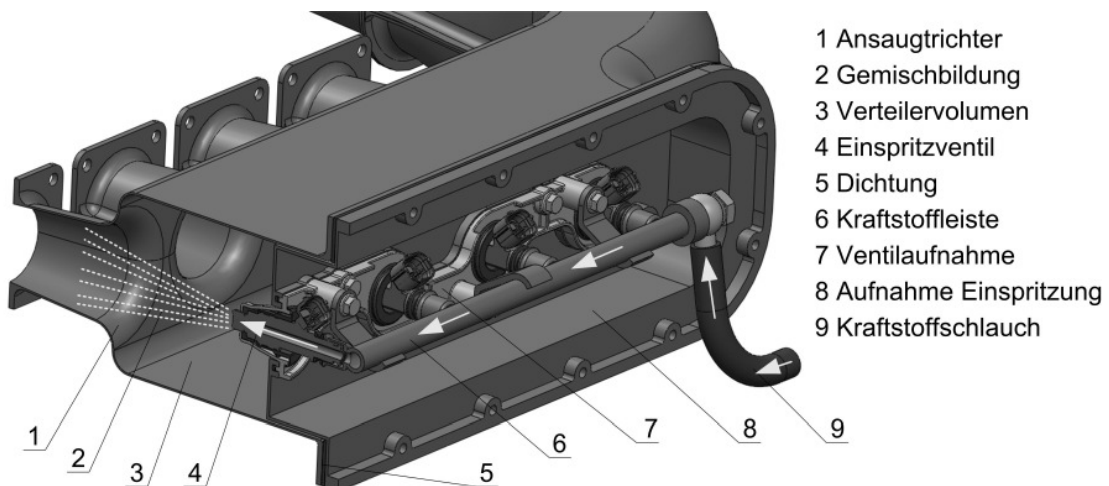


**Abbildung 4-10:** Filteraufbau und Strömungsverlauf

## 4.6 Einspritzanlage

Abgesehen von den luftführenden Komponenten des Ansaugtraktes ist eine Einspritzanlage notwendig, um den Motor mit einem verbrennungsfähigen Gemisch zu versorgen. Dabei umfasst die Einspritzanlage alle Systeme die zur zeit- und mengenmäßigen Einspritzung des Kraftstoffs notwendig sind [6]. Die Gemischbildung erfolgt in dem vorliegenden Fall durch Saugrohreinspritzung, wobei bei dieser Art der Einspritzung die Lage der Injektoren entscheidend für das motorische Verhalten ist [5]. Das Bestreben besteht darin, die Einspritzventile möglichst weit entfernt vom Brennraum anzuordnen, weil dadurch mehr Zeit für die Gemischbildung zur Verfügung steht. Zudem erlaubt ein langer Weg von der Einspritzung bis zu den Einlassventilen eine gute Abkühlung der angesaugten Frischluft durch den verdampfenden Kraftstoff. Dies führt zu einer unmittelbaren Leistungssteigerung, da die kühlere Luft eine größere Dichte aufweist und dadurch die dem Motor zugeführte Luftmasse steigt. Darüber hinaus sinkt durch ein kühles Gemisch die thermische Beanspruchung des Motors. Um diese Vorteile nutzen zu können, werden die Einspritzventile außerhalb des Ansaugtrichters zentral an der Mündung angeordnet (siehe Abbildung 4-11).

Die Aufnahme der Einspritzung erfolgt hierbei über ein Aluminiumfrästeil, welches in das Verteilervolumen eingesetzt und mit diesem verschraubt wird. Dies erlaubt eine einfache Montage und die Verwendung der Originaleinspritzanlage. Dadurch kann eine hohe Zuverlässigkeit der Einspritzanlage trotz eines geringen konstruktiven und fertigungstechnischen Aufwands erreicht werden. Dennoch sind Modifikationen des Originalsystems notwendig, um eine einwandfreie Funktion der Einspritzanlage zu erreichen. Dies betrifft zunächst die Kraftstoffleiste (engl. Rail), welches in der Originalausführung nur einen Anschluss an das Treibstoffsystem aufweist.



**Abbildung 4-11:** Aufbau und Funktionsprinzip der Einspritzanlage

Um jedoch eine Gleichverteilung des Kraftstoffs auf alle Einspritzventile sicherzustellen und örtliche Druckänderungen während des Einspritzvorgangs zu vermeiden, ist ein Anschluss der Verteilerleiste auf beiden Seiten vorteilhaft. Dazu werden Gewindestücke an den äußeren Seiten des Verteilerrohrs angeschweißt, wodurch dieses über Hohlschrauben auf beiden Seiten an das Treibstoffsystem angeschlossen werden kann.

An die Kraftstoffverteilerleiste schließen sich die Einspritzventile an, welche über eine zusätzliche Ventilaufnahme mit dem Verteilerrohr verschraubt werden. Durch das Öffnen der Ventile wird der im Rohr bereitgestellte, unter Druck stehende Kraftstoff in den Ansaugtrichter eingespritzt und zugleich zerstäubt, wodurch sich in Verbindung mit der angesaugten Luft ein brennfähiges Gemisch bildet. Dieses wird dann über die Saugrohre dem Brennraum zugeführt, wobei das Verhältnis zwischen eingespritztem Kraftstoff und angesaugter Luft im Idealfall 1:14,7 beträgt<sup>10</sup>. Die Injektoren müssen jedoch ausreichend dimensioniert sein, um die benötigte Kraftstoffmenge bereitstellen zu können. Diese lässt sich ausgehend vom theoretischen Luftmassenstrom wie folgt bestimmen.

$$\dot{m}_{\text{Kraftstoff}} = \frac{\dot{m}_{th, \max}}{14,7}$$

$$\dot{m}_{th, \max} = 240 \cdot A_{Rs}$$

$$A_{Rs} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{Rs}^2$$

$$\dot{m}_{th, \max} = 240 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{Rs}^2$$

$$\dot{m}_{\text{Kraftstoff}} = \frac{240 \cdot \pi \cdot d_{Rs}^2}{4 \cdot 14,7}$$

$$d_{Rs} = 0,02m$$

$$\dot{m}_{\text{Kraftstoff}} = \frac{240 \cdot \pi \cdot (0,02m)^2}{4 \cdot 14,7}$$

$$\dot{m}_{\text{Kraftstoff}} = 5,13 \cdot 10^{-3} \text{ kg / s}$$

$$\dot{m}_{\text{Kraftstoff}} = 307,7 \text{ g / min}$$

In diesem Fall ergab ein Düsentest, dass die originalen Einspritzventile nicht die benötigte Kraftstoffmenge liefern, so dass diese durch Injektoren von Bosch, welche einen ausreichenden Massenstrom von 310g/min (413ccm/min) bereitstellen, ersetzt werden.

---

<sup>10</sup> Der Betrieb des Motors mit einem erhöhtem Kraftstoffanteil (1:13) wird als „fett“ bezeichnet, wohingegen ein „magerer“ Betrieb einen erhöhten Luftanteil (1:16) aufweist.

## 4.7 Baugruppe

Das zu Beginn der Konstruktion entwickelte Konzept des Ansaugtraktes konnte ohne nennenswerte Revisionen umgesetzt werden, so dass die resultierende Baugruppe eine Vielzahl der gestellten Konstruktionsanforderungen erfüllt. Hinsichtlich des Reglements wurden alle Forderungen eingehalten, wobei eventuelle Fertigungstoleranzen berücksichtigt wurden, um die Bauraumvorgaben in jedem Fall erfüllen zu können. Den Anforderungen nach einer höheren Leistung sowie einer Anpassung des Drehmomentverlaufs wurde mit einer gezielten Auslegung der Bauteile Rechnung getragen. So weist die aktuelle Konstruktion im Vergleich zum Ansaugtrakt des Vorjahres eine deutlich längere Reinfluftleitung auf, welche als Lavaldüse ausgeführt wurde, um einen Teil des Druckverlusts zu kompensieren. Ausgehend von den einzelnen Komponenten lässt sich somit ein Leistungs-/Drehmoment Diagramm für die entwickelte Baugruppe erstellen (siehe Abbildung 4-12). Hierbei sind jedoch weniger die absoluten Werte von Bedeutung, als viel mehr der Verlauf der beiden Kurven. Es ist deutlich zu erkennen dass ein Maximum beider Kurven bei einer Drehzahl von  $8000\text{min}^{-1}$  erwartet wird, wobei dies auf den Aufladungseffekt der Saugrohre zurückzuführen ist. Zudem werden verglichen mit den Daten des Vorjahres (siehe Abbildung 4-4) generell höhere Werte von Leistung und Drehmoment aufgrund der verbesserten Bauteile wie Reinfluftleitung und Einspritzung für wahrscheinlich gehalten. Jedoch kann eine definitive Aussage über die tatsächlich erreichte Leistungssteigerung erst nach der Erprobung der Ansauganlage mit Hilfe eines Prüfstandlaufs gemacht werden,

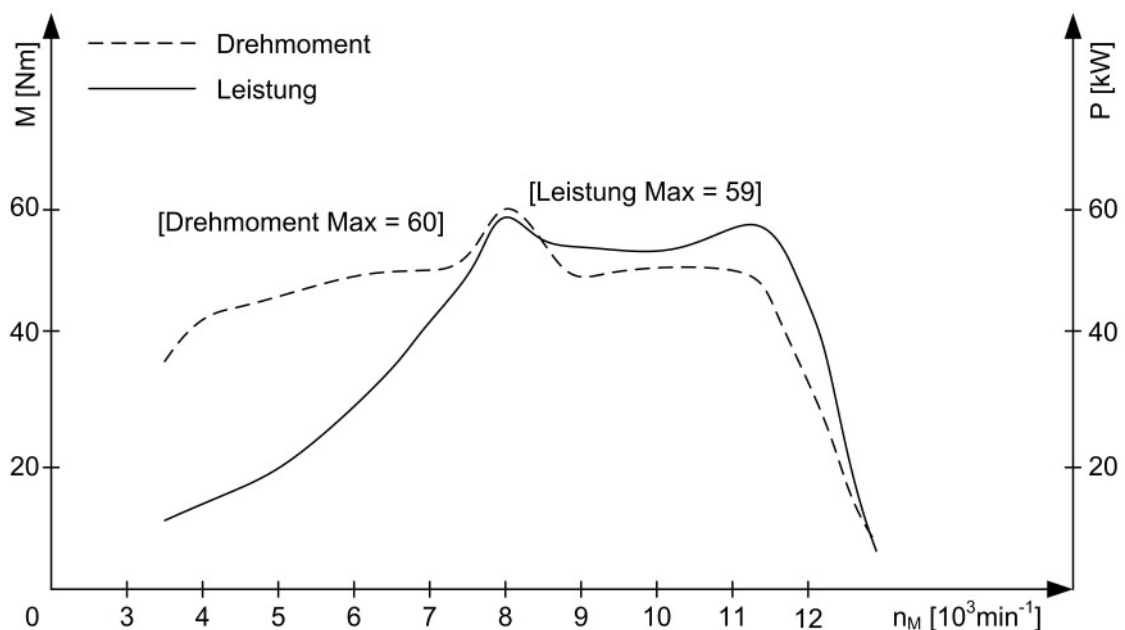
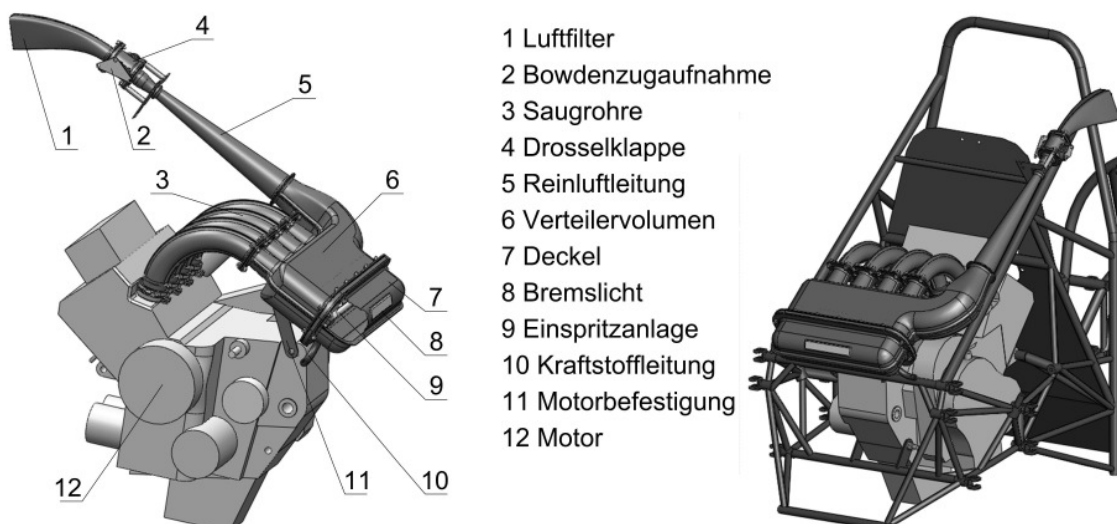


Abbildung 4-12: Erwartetes Leistungs-/Drehmoment Diagramm für 2009

Im Gegensatz dazu kann definitiv von einer Gewichtsreduzierung des Ansaugtraktes ausgegangen werden, da die Analyse der Masseneigenschaften unter Verwendung der CAD Software SolidWorks ein Baugruppengewicht von 4,0kg inklusive Einspritzung veranschlagt. Obwohl dieser Wert nur als theoretische Näherung verstanden werden kann, so ist eine Gewichtseinsparung gegenüber dem Vorjahr (4,9kg) von 15% - 20% durchaus realistisch. Bei dieser Betrachtung wird jedoch das in die hintere Abdeckung integrierte Rücklicht dem Gewicht der Elektrik zugeordnet (siehe Abbildung 4-13).

Der Forderung nach einer einfachen Zugänglichkeit und Montage der Bauteile wurde ebenfalls durch wenige Verbindungselemente sowie einer leicht erreichbaren Einspritzanlage Rechnung getragen.

Darüber hinaus wurde bei Konstruktion der Komponenten darauf geachtet, dass diese mit vertretbarem Aufwand zu fertigen sind. Dies betrifft besonders die Teile aus faserverstärktem Kunststoff, welche bei der Cotesa GmbH (in Mittweida ansässiger Sponsor) hergestellt werden konnten, wobei durch die dortige Unterstützung zudem von einer hohen Qualität der herzustellenden Bauteile ausgegangen werden kann. Abgesehen von der Genehmigung die Räumlichkeiten der Cotesa GmbH nutzen zu können, stellt das Unternehmen weiterhin die Materialien zur Herstellung der Bauteile zur Verfügung. Dadurch können die finanziellen Aufwendungen für die Herstellung des Ansaugtraktes deutlich verringert werden, welche sich somit auf annähernd 1200€ belaufen. Aufgrund der mangelhaften Dokumentation des Vorjahres lassen sich die Kosten der vorhergehenden Ansauganlage nicht genau beziffern, so dass es nicht möglich ist, einen Kostenvergleich anzustellen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den zusammengefügt Ansaugtrakt sowie dessen Positionierung innerhalb des Rennwagens, wobei detaillierte Zeichnungen in Anlage B angefügt sind.

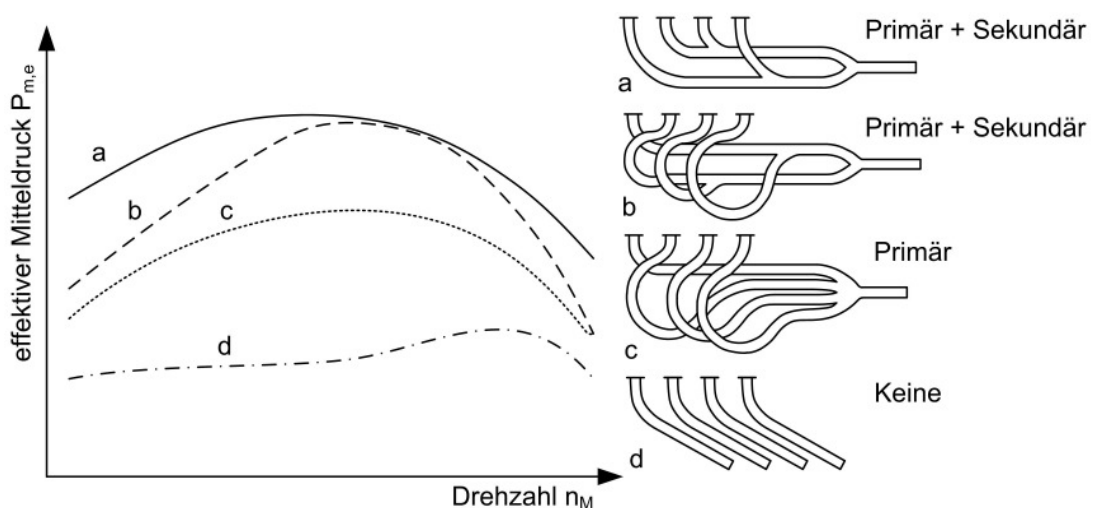


**Abbildung 4-13:** Ansaugtrakt und Positionierung innerhalb des Fahrzeugs

## 5 Hinweise für die Abgasanlagengestaltung

Abgesehen von einem funktionierenden Ansaugtrakt ist für das einwandfreie Arbeiten des Motors auch eine korrekt ausgelegte Abgasanlage notwendig. Zu Beginn der vorliegenden Arbeit war daher eine eindimensionale Ladungswechselrechnung vorgesehen, um die Abgasanlage den Erfordernissen des Ansaugtrakts anpassen zu können. Allerdings musste festgestellt werden, dass diese Teilaufgabe der Arbeit aufgrund der Komplexität einer solchen Rechnung nicht in der vorgesehenen Zeit hätte bewältigt werden können. Um trotzdem einen Ausgangspunkt für die Auslegung der Abgasanlage im Rahmen dieser Arbeit zu schaffen, wird im Folgenden sowohl auf den Zusammenhang zwischen Ansaugtrakt und Abgasanlage als auch auf günstige Auslegungsvarianten des Abgastrakts eingegangen.

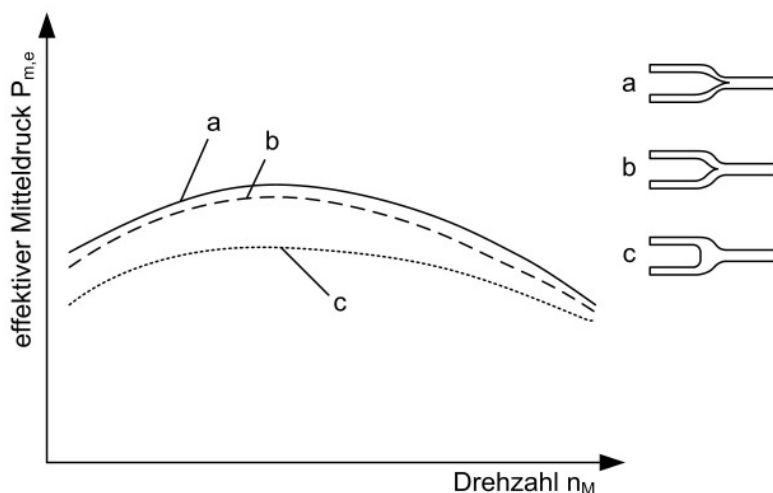
Die Aufgabe der Abgasanlage besteht darin, die dem Zylinder zugeführte Luftmasse nach der Verbrennung vollständig aus dem Brennraum abzuführen, um eine erneute Ladung mit Frischgas zu ermöglichen. Dazu muss ein positives Spülgefälle von der Ein- zur Auslassseite herrschen ( $p_E > p_A$ ) und der Druck muss auf der Seite des Ansaugtraktes größer sein als auf Seiten der Abgasanlage. Andernfalls wird der Zylinder schlecht entleert und der im Arbeitsraum verbleibende Restgasanteil beeinträchtigt die darauf folgende Frischgasfüllung [5]. Allerdings darf das Spülgefälle auch nicht zu stark sein, da sonst das nachströmende Frischgas durch die Ventilüberschneidung in den Abgastrakt mitgerissen wird und diese Energiemenge für die Verbrennung verloren ist [11]. Um eine Abgasanlage mit einem günstigen Spülgefälle zu erhalten, sind sowohl die Gestaltung der Krümmerrohre und des Endrohrs als auch die Auswahl eines geeigneten Schalldämpfers von Bedeutung.



**Abbildung 5-1:** Einfluss der Zusammenführung der Krümmer auf den Mitteldruck [5]



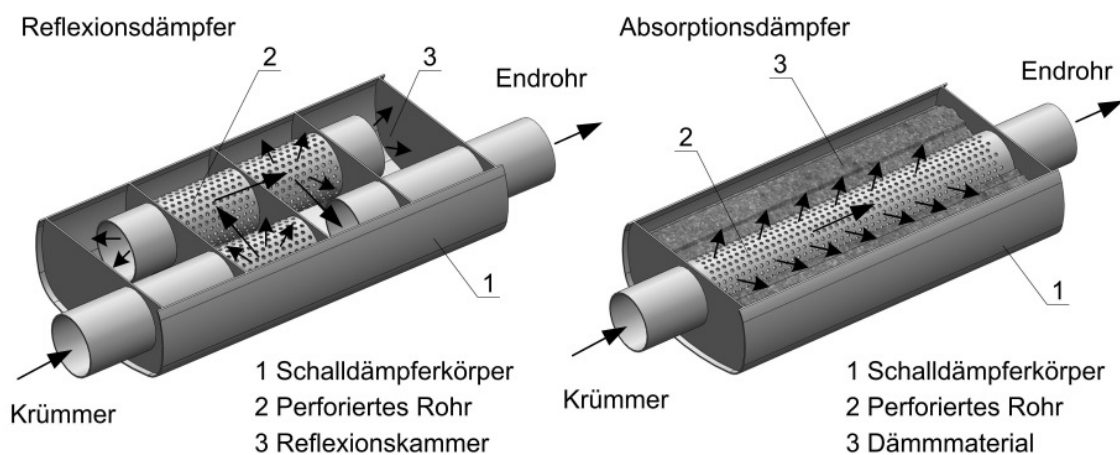
Der Einfluss der Krümmerzusammenführung auf das Spülgefälle und damit den effektiven Mitteldruck ist in Abbildung 5-1 dargestellt. In diesem Fall stellt eine Zusammenführung der Zylinder 1 und 4 sowie der Zylinder 2 und 3 nach Variante a die beste Möglichkeit dar, sofern die übliche Zündfolge des Motors (1-2-4-3) beibehalten wird. Dadurch wird ein günstiges Spülgefälle erreicht, wodurch der effektive Mitteldruck und somit die Leistung des Motors steigt. Abgesehen von der Reihenfolge kann auch durch die Geometrie der Rohrzusammenführung Einfluss auf den effektiven Mitteldruck genommen werden. In diesem Fall wirken sich Rohre, welche an der Vereinigungsstelle der Sekundärzusammenführung verjüngt sind, positiv auf den effektiven Mitteldruck aus (siehe Abbildung 5-2). Da diese Zusammenführung aus fertigungstechnischer Sicht jedoch vergleichsweise schwierig zu bewerkstelligen ist, empfehlen sich Rohre mit einem konstanten Querschnitt, welche einen guten Kompromiss zwischen einem hohen Mitteldruck und einer realisierbaren Fertigung darstellen. Abgesehen von den Krümmerrohren wirkt sich auch die Gestaltung des Endrohrs auf den effektiven Mitteldruck aus. Hierbei sollte gleichsam den Krümmerrohren ein konstanter Querschnittsverlauf angestrebt werden, um einen hohen Mitteldruck zu erreichen.



**Abbildung 5-2:** Einfluss der Sekundärzusammenführung auf den Mitteldruck [5]

Abgesehen von der Rohrauslegung des Abgastrakts wird die Leistung eines Fahrzeugs zudem außerordentlich stark durch den eingesetzten Schalldämpfer bestimmt, welcher zwischen Krümmer und Endrohr positioniert wird. Hierbei dient der Schalldämpfer zur Minimierung der Schallemissionen, welche durch den pulsierenden Gasausstoß der Zylinder entstehen [12]. Das Bestreben besteht darin, den Schalldruckpegel der Abgasanlage zu senken, ohne dabei die Leistung des Motors zu reduzieren. Ausgehend von dem zur Schallreduzierung verwendeten Wirkungsprinzip lassen sich

Reflexions- und Absorptionsschalldämpfer unterscheiden. Die Reflexionsschalldämpfer bestehen aus verschiedenen langen Kammern (in der Regel vier), welche über Rohre miteinander verbunden sind. Dadurch bewirken die Querschnittssprünge zwischen den Rohren und den Kammern sowie die Umlenkungen des Abgases und die sich aus den Verbindungsrohren mit den Kammern ergebenden Resonatoren, eine effiziente Reduzierung des Schalldruckpegels besonders für tiefe Frequenzen [12]. Allerdings führen die Ein- und Ausströmvorgänge der Abgase im Schalldämpfer zu einem höheren Abgasgegendruck und damit zu einem schlechteren Spülgefälle, was in der Folge zu einer Minderung der Leistung führt. Im Gegensatz dazu weisen Absorptionsschalldämpfer einen durchgängigen Rohrverlauf auf, wobei das perforierte Rohr mit einem porösen Material umgeben ist, welches die Schallwellen absorbiert. Die aufgenommene Schallenergie wird in Wärme umgewandelt, wodurch ein Ansteigen des Abgasgegendrucks vermieden wird. Ausgehend von diesem Umstand ist daher die Verwendung eines Absorptionsschalldämpfers zu bevorzugen.



**Abbildung 5-3:** Funktionsprinzip von Reflexions- und Absorptionsschalldämpfer

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die hier dargelegten Grundlagen insofern einen guten Ausgangspunkt für die Auslegung der Abgasanlage darstellen, da durch deren Beachtung das Leistungspotenzial des Ansaugtrakts nicht gemindert wird. Um darüber hinaus eine Steigerung der Motorleistung mit Hilfe von gasdynamischen Effekten im Abgastrakt zu realisieren, bedarf es jedoch weiterführender Recherchen sowie einer eingehenden Berechnung der einzelnen Bauteile.

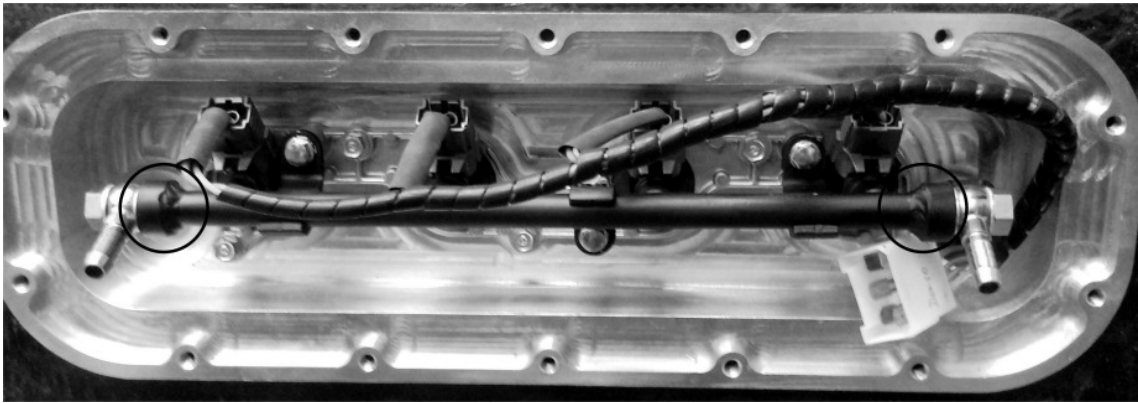
## 6 Fertigung des Ansaugtraktes

Einen wesentlichen Teil der vorliegenden Arbeit stellte die Herstellung der entwickelten Ansauganlage dar, wobei die dabei durchgeführten Fertigungsschritte im folgenden Kapitel näher erläutert werden. Zu Beginn wird kurz auf die Fertigung der nicht faserverstärkten Bauteile eingegangen, woran sich eine Darlegung über die Herstellung der CFK Komponenten anschließt. Dabei wird die Fertigung der Laminierformen sowie der anschließende Herstellungsprozess der Lamine erläutert. Darüber hinaus wird beschrieben, welche Arbeitsschritte sich an den Laminierprozess anschlossen, um aus den laminierten Einzelteilen die benötigten Bauteile herzustellen.

### 6.1 Nicht kohlefaserverstärkte Bauteile

Die Fertigung der benötigten Dreh- und Frästeile wurde direkt innerhalb des Fachbereichs bewerkstelligt, welcher über einen gut ausgerüsteten Maschinenpark verfügt, da hierdurch eine kurze Fertigungszeit sowie die notwendige Fertigungsgenauigkeit garantiert werden konnte. Diese war besonders bei der Herstellung des Durchflussbegrenzers erforderlich, da in diesem Fall eine Abweichung der geforderten Durchmesser toleranz über den festgelegten Wert zu einer Nichteinhaltung des Reglements führen kann oder zu einer direkten Leistungsminderung, sofern der Wert unterschritten wird. Die abschließende Prüfung des Aluminiumrings ergab jedoch, dass die vorgegebene Toleranz eingehalten werden konnte.

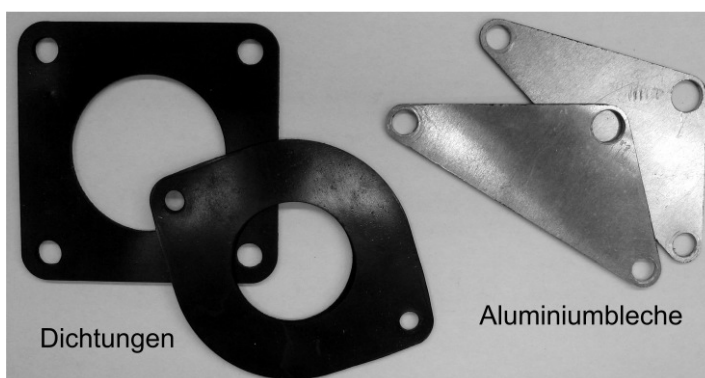
Abgesehen von der hohen Präzision ist zudem die Herstellung von Teilen unter Verwendung von CAM Software im Fachbereich möglich, wobei die digitalen Bauteildaten direkt an die Fertigung mittels IGS Dateien ausgehändigt werden können. Dadurch lassen sich auch komplexere Komponenten mit einem vergleichsweise geringen Aufwand realisieren. In dem vorliegenden Fall wurde anhand dieses Verfahrens das Befestigungsblech hergestellt, welches in Abbildung 6-1 dargestellt ist. Hier lässt sich auch gut die modifizierte Kraftstoffleiste erkennen, an deren Seiten Gewindestücke angeschweißt wurden, um eine Verbindung des Kraftstoffschlauchs mittels Hohlschrauben zu bewerkstelligen.



**Abbildung 6-1:** Befestigungsblech mit Kraftstoffleiste (Gewindestücke markiert)

Zunächst wurde der Originalanschluss auf der rechten Seite der Kraftstoffleiste entfernt sowie danach die linke Seite des Rohrs aufgebohrt. Im Anschluss konnten die ebenfalls im Fachbereich hergestellten Gewindestücke durch den Schweißer des Teams ohne größere Probleme mit der vorbereiteten Kraftstoffleiste verbunden werden. Hierbei ist im Vorfeld auf eine korrekte Schweißnahtvorbereitung zu achten, um das Einbringen von Verunreinigungen oder Lufteinschlüssen zu vermeiden, welche zu einer undichten Schweißnaht an der druckbeaufschlagten Kraftstoffleiste führen würden.

Abgesehen von der Fertigung an der Hochschule wurden zudem einige Bauteile bei der in Chemnitz ansässigen ATECH GmbH hergestellt, welche den Zuschnitt von verschiedenen Materialien mittels Wasserstrahlschneiden durchführen. Bei diesem Verfahren wird der zu bearbeitende Werkstoff mit Hilfe eines Hochdruckwasserstrahls getrennt, wodurch sich sowohl weiche als auch sehr dünne Materialien ohne Wärmeeintrag und mit hoher Präzision schneiden lassen. Daher wurde dieses Verfahren zur Herstellung der Dichtungen gewählt, welche aus 2mm starkem Fluor-Kautschuk bestehen. Da sich dieses Fertigungsverfahren als zuverlässig und kostengünstig erwies, wurden darüber hinaus die Aluminiumbleche für die Befestigung des Bowdenzugs mit diesem Verfahren hergestellt (siehe Abbildung 6-2)



**Abbildung 6-2:** Wasserstrahlgeschnittene Bauteile

## 6.2 Kohlefaserverstärkte Bauteile

Um die Forderung nach einer Gewichtsreduzierung des Ansaugtraktes zu erfüllen, wurde bereits während der Konzeptphase die Notwendigkeit erkannt, den Großteil der Ansauganlage aus kohlefaserverstärktem Kunststoff herzustellen (siehe Tabelle 6-1). Hierbei gibt es mehrere Verfahren um die Kohlestofffasern in die Kunststoffmatrix einzubringen. In dem vorliegenden Fall wurde dies mittels der Nasslaminattechnik mit anschließendem Verpressen des Laminats unter Vakuum realisiert.

Bei diesem Verfahren werden die Gewebematten von Hand auf eine Form aufgelegt und mit Kunstharz getränkt, wobei dieser Prozess so oft wiederholt wird, bis die gewünschte Schichtstärke erreicht ist. Im Anschluss wird das Laminat vakuumdicht verpackt und an eine Vakuumpumpe angeschlossen, der erzeugte Unterdruck presst die Gewebelagen zusammen. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Hohlräume zwischen den Laminatschichten entstehen, um eine hohe Festigkeit des Bauteils zu gewährleisten. Zudem wird überschüssiges Harz aus dem Laminat herausgesaugt, so dass ein optimales Verhältnis zwischen Gewicht und Festigkeit erreicht wird. Das Aushärten des Bauteils erfolgt durch die chemische Reaktion des Harzes mit dem Härter, dabei wird die Zeit bis zum Einsetzen des Aushärteprozesses (Topfzeit), durch den verwendeten Härter bestimmt.

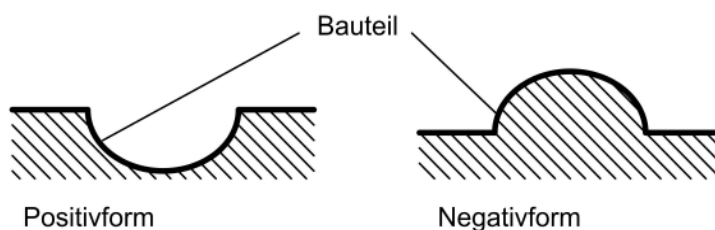
Abgesehen von der hohen Bauteilqualität bietet dieses Verfahren den Vorteil, dass es aufgrund des vergleichsweise geringen Werkzeug- und Ausstattungsaufwand an der Hochschule durchgeführt werden kann. Obwohl dieser Punkt im Verlauf der Arbeit an Bedeutung verlor, da der eigentliche Laminierprozess bei der Cotesa GmbH durchgeführt werden konnte, war er bei der Auswahl eines geeigneten Herstellungsverfahrens das ausschlaggebende Kriterium. Unabhängig davon ist dieses Verfahren mit verhältnismäßig geringen Kosten realisierbar, da weder aufwendige Anlagentechnik noch kostenintensive Laminierformen benötigt werden.

**Tabelle 6-1:** Übersicht der Herstellungsverfahren (Legende: + günstig, - ungünstig, 0 neutral)

Verfahren	Qualität	Anlagentechnik	Verfügbarkeit	Kosten
Nasslaminat	0	+	++	+
Nasslaminat mit Vakuumverpressen	+	0	++	+
Prepeg	++	--	-	--
Vakuum Infusion	++	-	--	0
Faserwickeln	++	-	--	-

### 6.2.1 Herstellung der Laminierformen

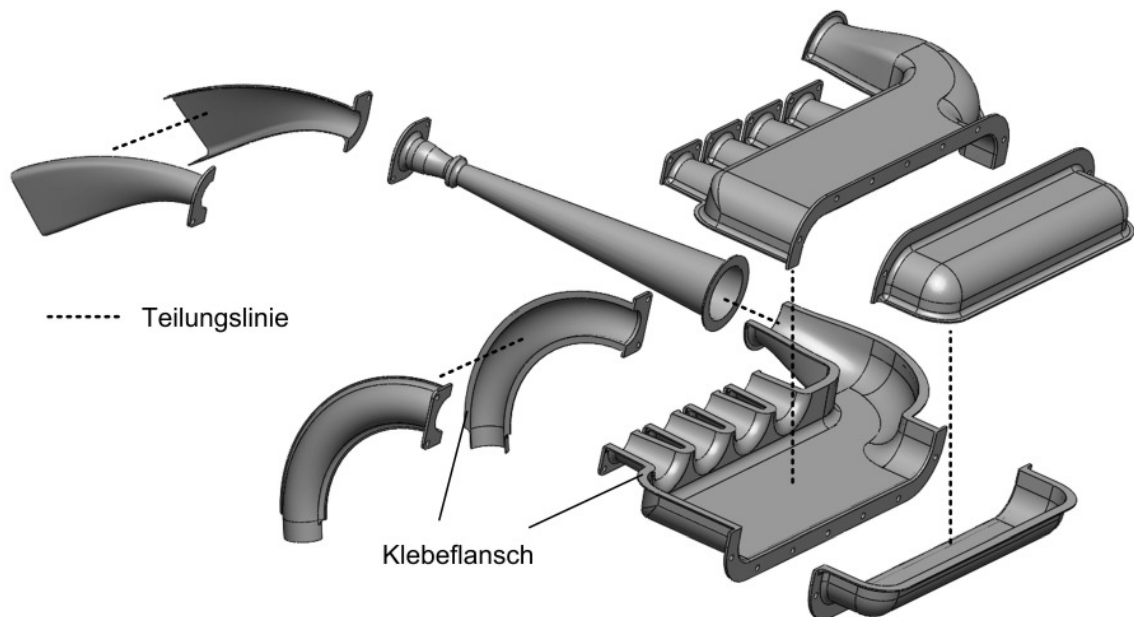
Die Grundlage bei der Herstellung eines faserverstärkten Bauteils bildet das entsprechende Werkzeug, welches dem Fertigteil nicht nur dessen Form verleiht, sondern auch einen Einfluss auf dessen Oberfläche hat. Hierbei kann zwischen Positiv- und Negativformen unterschieden werden, wobei es sich bei Negativformen praktisch um einen „Abdruck“ des Originalteils handelt [13]. Diese Formen werden verwendet, wenn die daraus resultierenden Bauteile glatte Außenflächen aufweisen sollen. Im Gegensatz dazu erreicht man glatte Innenflächen durch die Verwendung einer Positivform, welche als Formkern dient (siehe Abbildung 6-3).



**Abbildung 6-3:** Varianten von Laminierformen [13]

Zur Verringerung der Wandreibung durch glatte Innenflächen des Ansaugtraktes wird daher die Herstellung der Bauteile mittels Positivformen durchgeführt. Die Auswahl eines geeigneten Formmaterials richtet sich hierbei nach verschiedenen Kriterien, wie Oberflächengüte, Bearbeitung und Kosten. In dem vorliegenden Fall wird ein Material angestrebt, welches eine dichte Oberfläche und ein feines Gefüge aufweist, da poröse Werkstoffe vor der Verwendung gespachtelt und lackiert werden müssen. Zudem sollte das Material eine einfache und schnelle Fräsbearbeitung zulassen und nur geringe Kosten verursachen. Ausgehend von diesen Anforderungen wurde ein Kunststoffmaterial der Ebalta Kunststoff GmbH ausgewählt, welches die Bezeichnung ebaboard S trägt und alle Forderungen erfüllt, da es speziell für die Herstellung von Laminierformen entwickelt wurde.

Betrachtet man die Form der herzustellenden Bauteile, so fällt auf, dass diese nicht aus einem Stück hergestellt werden können, da eine Ausformung der Fertigteile von den Laminierformen aufgrund von Hinterschneidungen nicht möglich ist. Daher erfolgt die Fertigung der Komponenten in zwei Schritten, wobei zunächst nur einzelne Teile (Hälften) des gesamten Bauteils laminiert und diese Teile im Anschluss verklebt werden. Hierbei muss die Teilung der Komponenten so erfolgen, dass die Positivformen keine Hinterschneidungen aufweisen und eine ausreichende Formschräge ( $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) in der Entformungsrichtung besitzen.



**Abbildung 6-4:** Aufteilung der Bauteile zur Herstellung

Die aus diesen Forderungen resultierende Aufteilung der Komponenten ist in Abbildung 6-4 dargestellt, wobei gut die Flansche zu erkennen sind, an denen die Teile später zusammengeklebt werden.

Ausgehend von dieser Zerlegung der Bauteile wurden die Laminierformen modelliert und das Kunststoffmaterial für die Bearbeitung vorbereitet. Hierzu wurde das angelieferte Plattenmaterial zunächst grob zugeschnitten und anschließend mit der dem Team zur Verfügung stehenden 3-Achs Fräsmaschine auf die erforderlichen Rohmaterialabmaße gebracht. Da die Herstellung der Laminierformen mittels dieser Maschine geplant war, wurden anschließend die notwendigen Fräsprogramme mit Hilfe der CAM Software Edgecam erstellt. Allerdings musste bei der Herstellung der Laminierformen festgestellt werden, dass die Maschine die Fräsprogramme nur fehlerhaft verarbeitete, so dass kein einziges Laminierwerkzeug auf dieser Maschine hergestellt werden konnte. Der Grund für die falsche Ausführung der Programme war ein Defekt im Speicher der CNC Steuerung, woraufhin die Laminierformen in der Fertigung des Fachbereichs hergestellt werden mussten.

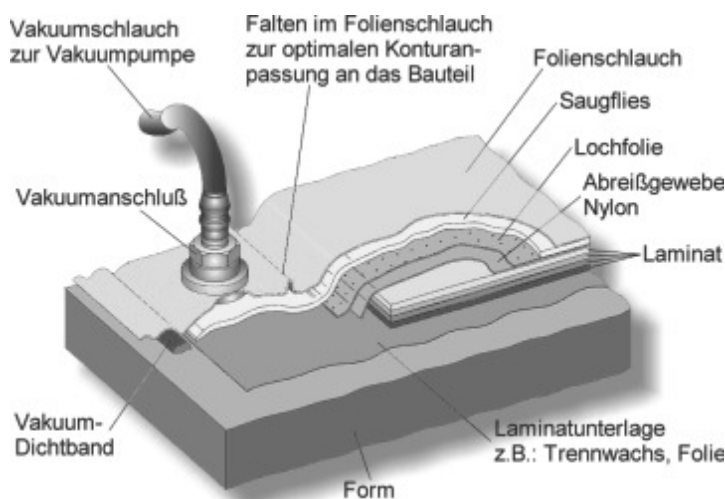
In Vorbereitung auf den Laminierprozess, bei dem eine geringe Rauigkeit der Oberfläche notwendig ist, um die Fertigteile entformen zu können, wurden die Formen im Anschluss an die Fräsbearbeitung mit Schleifpapier bearbeitet. Darüber hinaus wurden zugeschnittene Pressspanplatten an die Laminierformen angeschraubt, um die Flansche zur Verschraubung der Bauteile herstellen zu können.

### 6.2.2 Laminieren der Einzelteile

Im Anschluss an die Fertigung der Laminierformen erfolgte die Herstellung der Einzelteile, wobei dieser Arbeitsschritt bei der Cotesa GmbH durchgeführt wurde und im Folgenden exemplarisch für eine Hälfte des Verteilervolumens beschrieben wird.

Hierbei wird im ersten Schritt die Laminierform mit einem Porenversiegler bestrichen, um trotz der glatten Oberfläche auch sehr kleine Poren zu versiegeln. Dadurch verbessert sich zum einen die Innenfläche des späteren Fertigteils und zum anderen garantiert es eine einfache Entfernung des Laminats von der Form. In ungünstigen Fällen kann eine schlecht versiegelte Formoberfläche dazu führen, dass sich das Fertigteil nur sehr schwer entformen lässt, was zu Beschädigungen des Laminats und der Form führen kann. Um in jedem Fall ein Verkleben der Form mit dem Teil zu vermeiden, wurden anschließend sieben bis acht Schichten Trennmittel auf die Form aufgetragen. Bei dem so genannten Eintrennen wurde vor allem darauf geachtet, dass zwischen den Schichtaufträgen die Laminierform mindestens 15 Minuten ablüftet, damit sich eine geschlossene Trennschicht ausbildet, welche ein Aneinanderhaften von Laminat und Form verhindert. Darüber hinaus wurden die für den Laminierprozess notwendigen Materialien zugeschnitten

Nach Abschluss aller Vorbereitungen wurde mit dem Laminierprozess begonnen, wobei als Erstes eine Schicht angedickte Harzmasse, ein Gemisch bestehend aus Harz, Härter und Glasfaserpulver, auf die Laminierform aufgetragen wurde. Hierbei führt das beigemischte Glasfaserpulver dazu, dass die Harzmasse auf der mit Trennmittel beschichteten Form haften bleibt (siehe Abbildung 6-5). Anschließend werden Kohlefaserstränge (engl. Rovings) in die Kanten der Form eingelegt und mit der angedickten Harzmasse bestrichen, um diese in ihrer Lage zu fixieren.



**Abbildung 6-5:** Schichtaufbau beim Vakuumverpressen [14]



Die Aufgabe der Faserstränge besteht darin, die scharfen Kanten der Form abzubilden, wozu die Kohlefasermatten aufgrund ihrer Struktur ungeeignet sind. Darüber hinaus verleihen die Rovings den Kanten die nötige Steifigkeit und vermeiden Lufteinschlüsse in diesem Bereich, welche die Struktur des Bauteils schwächen würden.

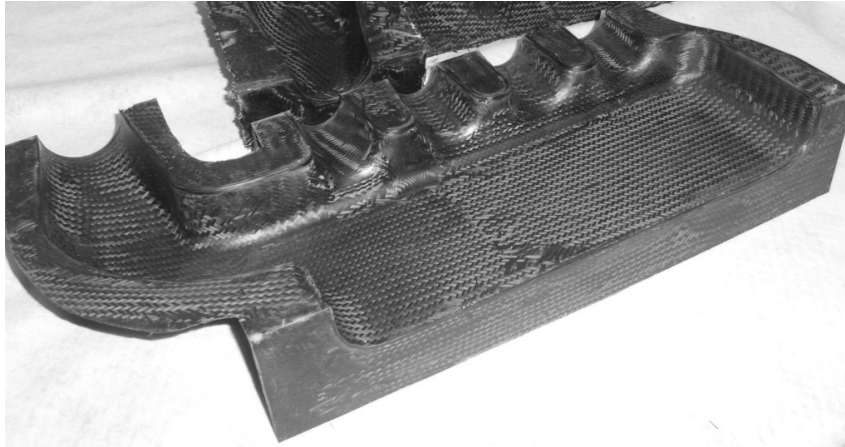
Im Anschluss daran wird die erste von insgesamt vier Kohlefaserschichten auf die Form aufgelegt und mit normaler dünnflüssiger Harzmasse getränkt. Hierbei wird das Harz mittels eines Pinsels in die Gewebeschicht eingebracht, wobei darauf zu achten ist, dass die Fasern vollständig mit der Harzmasse durchtränkt werden. Andernfalls kann es sowohl zur Bildung von Lufteinschlüssen kommen, welche die Bauteilfestigkeit herabsetzen, als auch zu Poren, die zu Nebenluft im Ansaugtrakt führen können.

Die verbleibenden drei Kohlefaserschichten werden auf dieselbe Art und Weise auf die Form aufgebracht, so dass eine Wandstärke des Bauteils von 1mm erreicht wird. Im Bereich der Flansche werden zusätzliche Schichten aufgetragen, so dass sich die Teile später ohne Probleme miteinander verschrauben lassen.

Auf die letzte Laminatschicht wird das Abreißgewebe aufgelegt, welches ebenfalls mit Harz getränkt wird. Dieses aus Nylon bestehende Gewebe wird nach dem Aushärten des Laminats wieder abgezogen, wodurch eine raue und saubere Oberfläche geschaffen wird. Dadurch ist das Teil sehr gut für weitere Arbeitsschritte präpariert und bedarf keiner weiteren Vorbehandlung wie Entfetten oder Anschleifen der Oberfläche.

An das Abreißgewebe schließt sich die Lochfolie an, welche dazu dient, das Laminat vom Vakuumaufbau zu trennen, und aufgrund der Perforation dem überschüssigen Harz erlaubt aus dem Laminat auszutreten. Das überschüssige Harz wird hierbei durch das Saugvlies aufgenommen, welches auf die Lochfolie aufgelegt wird. Den Abschluss des Vakuumaufbaus bildet der Folienschlauch oder Saugsack, in dem das gesamte Laminat inklusive Form und der anderen Vakuummaterialien verpackt wird. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass der Saugsack großzügig in Falten gelegt wird, um ein Überspannen von Vertiefungen oder Kanten zu vermeiden. Dies verringert die Gefahr eines Folienrisses und garantiert zudem, dass sich der Saugsack in alle Ecken einfügt und einen gleichmäßigen Druck auf das Laminat aufbaut. Die Abdichtung des Saugsacks erfolgt mittels Vakuumdichtband, welches sehr flexibel ist und sich Formunregelmäßigkeiten anpasst. Abschließend wird der gesamte Aufbau an das Vakuumnetz angeschlossen, wobei der Vakuumanschluss im Inneren des Saugsacks auf das Saugvlies gebettet werden muss, da die Saugfolie ansonsten rings um den Vakuumanschluss abdichten würde. Generell sollte nach dem Anschluss des Vakuums der Saugsack auf undichte Stellen überprüft werden und notfalls mit zusätzlichem Dichtband abgedichtet werden, um ein ausreichendes Vakuum zu erzeugen.

Durch die Verwendung eines Härters mit einer geringen Topfzeit war die Entformung des hergestellten Teils schon nach 16 Stunden möglich, wobei zunächst der Vakuumaufbau entfernt und anschließend das Laminat mittels Keil und Hammer vorsichtig von der Form abgelöst wurde (siehe Abbildung 6-6).



**Abbildung 6-6:** Entformte Hälfte des Verteilervolumens

### 6.2.3 Herstellung der Bauteile

Ausgehend von den zuvor laminierten Einzelteilen war es möglich, diese in einem weiteren Arbeitsschritt zu den entsprechenden Bauteilen zusammenzufügen. Zunächst wurden die als Klebestellen vorgesehenen Flächen der Lamine mit grobem Schleifpapier angeraut, um eine klebefähige Oberfläche zu schaffen. In diesem Fall wurde besonders darauf geachtet, die in die Matrix eingebetteten Kohlefasern wieder freizulegen, wodurch sich die Rauheit der Fläche beträchtlich erhöht und die dadurch entstehende Klebeverbindung deutlich größerer Kräfte aufnehmen kann. Im Anschluss daran wurden die Flächen zunächst mit Wasser gereinigt und danach mit Aceton entfettet. Als Kleber diente angedicktes Harzgemisch (Harz, Härter, Glasfaserpulver), welches auf beide Seiten der zu verbindenden Teile mittels eines Pinsels aufgetragen wurde. Um ein Verrutschen der Teile zu verhindern, wurden diese mit Schraubzwingen fixiert und aneinandergespresst, bis die Klebeverbindung ausgehärtet war.

Nach dem Aushärten der Klebeverbindung wurden die überstehenden Kanten der Bauteile mit Hilfe eines Dremel Multifunktionswerkzeugs abgetrennt und anschließend verschliffen. Darüber hinaus wurden die notwendigen Bohrungen für die späteren Schraubenverbindungen eingefügt und die Außenfläche der Bauteile in Vorbereitung auf die Lackierung geschliffen. Den Abschluss bildete die Lackierung der Bauteile mittels eines handelsüblichen Klarlacks, welcher dazu dient, den kohlefaserverstärkten Kunststoff vor äußeren Einflüssen zu schützen sowie das äußere Erscheinungsbild der Bauteile aufzuwerten.

## 7 Erprobung

Aufgrund der zeitlich verzögerten Fertigstellung des Rennwagens konnten die ersten Testläufe mit der Ansauganlage erst relativ spät im Verlauf der vorliegenden Arbeit durchgeführt werden. Nichtsdestotrotz war es möglich, die Konstruktion eingehend zu erproben, wobei bereits während des ersten Motorlaufs festgestellt werden konnte, dass sich das Verteilervolumen aufgrund des induzierten Unterdrucks während des Ansaugvorgangs verformte. Die großen Flächen des Verteilervolumens wurden nach innen gewölbt, wobei sich dieser Effekt besonders stark bei schnellen Lastwechseln von Teil- zu Volllast äußerte. Durch den an die Ansauganlage angeschlossenen Drucksensor konnte ein kurzzeitiger Unterdruck von ca. 300mbar bei Lastwechsel innerhalb des Verteilervolumens gemessen werden. Um ein Versagen des Bauteils zu vermeiden, wurden die betroffenen Flächen mittels einer Sandwichstruktur verstärkt, wodurch die Verformung des Bauteils vollständig kompensiert werden konnte.

Abgesehen vom Verteilervolumen musste zudem das Aluminiumfrästeil verstärkt werden, welches die Einspritzanlage aufnimmt. Hierbei kam es durch die schräge Positionierung der Ansauganlage zu einer Ansammlung von Kraftstoff innerhalb des Verteilervolumens während des Motorbetriebs. Obwohl sich dies nicht direkt auf den die Funktionsweise des Motors auswirkte, kam es nach Abschaltung des Motors zur Bildung eines brennfähigen Kraftstoff-Luft Gemisches in der Ansauganlage. Somit kam es während des Startens des Motors mehrmals zu einer Verpuffung dieses Gemisches, wodurch das Bauteil immer weiter verformt wurde (siehe Abbildung 7-1).



Originalzustand vor Einbau  
des Aluminiumteils

Zustand des Bauteils  
nach 10 bis 15 Verpuffungen

**Abbildung 7-1:** Beschädigung des Aluminiumteils durch Verpuffungen

Obwohl das Bauteil trotz der Verformung dicht war und auch die Ausrichtung der Einspritzventile keine Veränderung aufwies, wurde das Teil gegen eine verstärkte Komponente ausgewechselt. Die schräge Positionierung des Ansaugtraktes, welche die Ursache für die Verpuffungen darstellt, konnte aufgrund des geringen zeitlichen Rahmens nicht mehr verändert werden.

Abgesehen von diesen negativen Erfahrungen konnte während der Testläufe des Fahrzeugs auch eine Reihe positiver Beobachtungen gemacht werden. So wurde festgestellt, dass es aufgrund der zentralen Anordnung der Einspritzventile vor den Ansaugtrichtern zur Bildung eines kühlen Gemisches kommt. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Motortemperatur aus, welche selbst bei hoher Beanspruchung nicht über  $90^{\circ}\text{C}$  stieg und die Leistung des Motors erhöhte. Um den subjektiven Eindruck der Fahrer, welche dem Fahrzeug eine Leistungssteigerung bezeugten, überprüfen zu können, wurde der Rennwagen auf einem Rollenprüfstand getestet. Das dabei aufgezeichnete Leistungsdiagramm ist in Abbildung 7-2 dargestellt, wodurch der subjektive Eindruck der Fahrer zunächst bestätigt werden konnte. Es ist deutlich ein ausgeprägtes Drehmomentmaximum im unteren Drehzahlbereich zu erkennen, wobei der Kurvenverlauf jedoch sehr steil ist. Dadurch ist zwar eine gute Beschleunigung im unteren Drehzahlbereich gegeben, aber das Drehmoment lässt sich schlecht dosieren. Im Drehzahlbereich von  $5000\text{min}^{-1}$  -  $8000\text{min}^{-1}$  herrschen hingegen ein vergleichsweise konstanter Drehmoment- und Leistungsverlauf. Allerdings fallen beide Kurven mit dem Erreichen der Drehzahl von  $8000\text{min}^{-1}$  stark ab und steigen danach auch nicht wieder an.

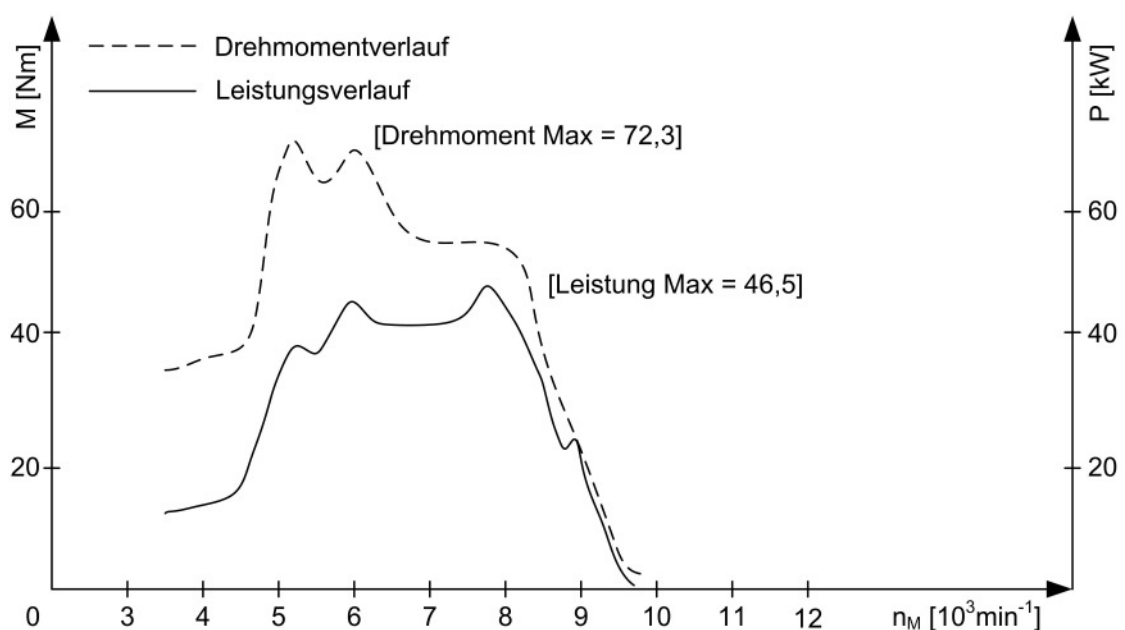


Abbildung 7-2: Leistungs-/Drehmoment Diagramm 2009

Dieser Verlauf widerspricht den Erwartungen, da durch die berechnete Länge der Saugrohre gerade in diesem Drehzahlbereich eine Steigerung des Drehmoments aufgrund von gasdynamischen Aufladungseffekten zu verzeichnen sein sollte. Hier liegt jedoch die Vermutung nahe, dass gerade durch die Saugrohre Druckwellen induziert werden, welche in Wechselwirkung mit dem Verteilervolumen eine Füllung der Zylinder in diesem Drehzahlbereich vollkommen verhindern. Diese Annahme wurde noch auf dem Prüfstand durch Gespräche mit dem dortigen Prüfstandsleiter erhärtet, zumal andere Ursachen für diesen Leistungsabfall ausgeschlossen werden konnten. Abgesehen von den Ergebnissen des Leistungs-/Drehmoment Diagramms wurde auf dem Prüfstand festgestellt, dass die Zylinder ungleichmäßig mit Luft versorgt werden. In diesem Fall ist der Zylinder, welcher sich direkt an die Lavaldüse anschließt, am besten versorgt, wobei diese Tatsache direkt auf die Bauteilgeometrie des Verteilervolumens zurückgeführt werden kann.

Unabhängig von der Motorcharakteristik wurde während des Lautstärketests auf dem Hockenheimer Ring eine weitere interessante Feststellung gemacht. Der Geräuschpegel am Heck des Rennwagens wurde zu einem wesentlichen Teil durch den Ansaugtrakt verursacht, wobei sich dieser Pegel als größer herausstellte, als zunächst angenommen. Diese Tatsache sollte bei der zukünftigen Auslegung des Ansaugtraktes daher stärker beachtet werden.

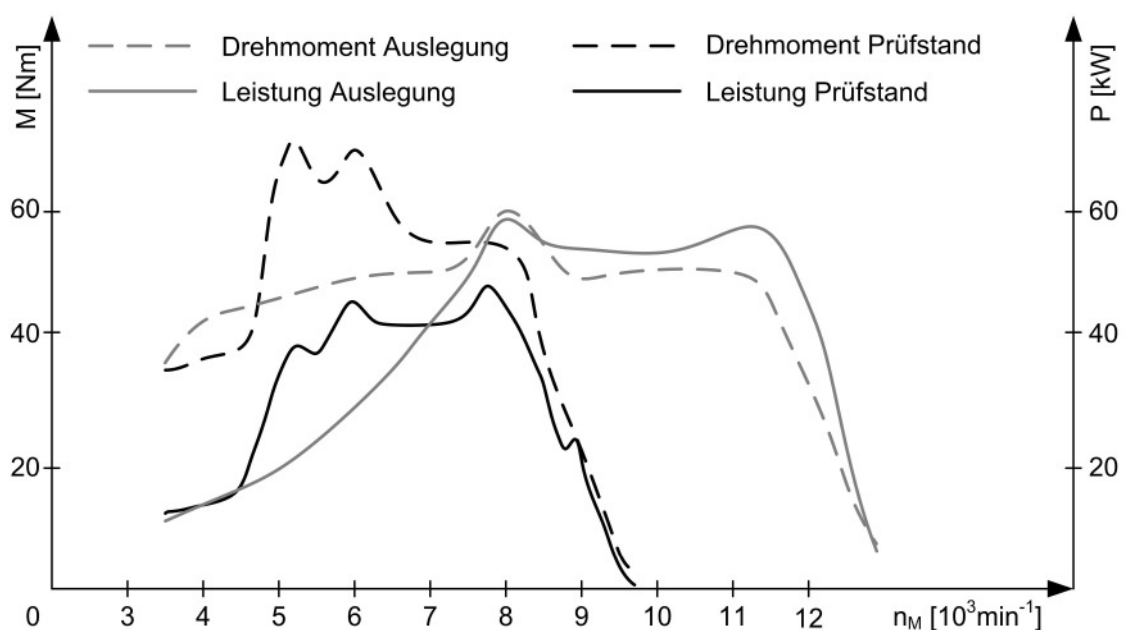
## 8 Ergebnisse

Ausgehend von den Erkenntnissen, welche während der Erprobung des Ansaugtraktes gemacht wurden, lassen sich in Verbindung mit den zu Beginn gestellten Anforderungen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wie folgt zusammenfassen.

Zunächst einmal konnten alle Forderungen hinsichtlich des Reglements erfüllt werden, wobei jedoch Kompromisse bei der Auslegung gemacht werden mussten, welche sich als ungünstig erwiesen. In diesem Fall wäre die außermittige Anordnung der Reinluftleitung zu nennen, um innerhalb des vorgegebenen Bauraums bleiben, wodurch es jedoch zu einer ungleichmäßigen Versorgung der Zylinder mit Luft kommt. Obwohl diese Lösung daher als verbesserungswürdig angesehen werden muss, ermöglichte sie dennoch einen zuverlässigen Betrieb des Motors und eine Abnahme der Ansauganlage bei der technischen Überprüfung ohne Beanstandungen.

Im Gegensatz zum Reglement konnten die Anforderungen bezüglich einer Leistungssteigerung jedoch nur teilweise erreicht werden. Dies lässt sich besonders gut erkennen, wenn man das angestrebte Leistungs-/Drehmoment Diagramm mit den tatsächlich auf dem Prüfstand erreichten Werten vergleicht (siehe Abbildung 8-1).

Hierbei ist zunächst zu erkennen, dass im unteren Drehzahlbereich sowohl eine Drehmoment- als auch Leistungssteigerung über den geplanten Wert hinaus erreicht werden konnte.



**Abbildung 8-1:** Leistungs-/Drehmoment Vergleich Auslegung und Prüfstand

Allerdings fällt die Drehmoment- und Leistungskurve aufgrund der zu langen Saugrohre schon bei einer Drehzahl von  $8000\text{min}^{-1}$  ab, wodurch es insgesamt betrachtet zu einem deutlichen Leistungsverlust kommt. Aufgrund dieser Problematik wird zudem auch keine höhere Maximalleistung als in der Vorjahressaison erreicht, wie dies ursprünglich geplant war. Darüber hinaus muss die Forderung nach einem konstanten Drehmomentverlauf ebenfalls als nicht erreicht angesehen werden, da zu Beginn ein deutlicher Sprung die Drehmomentkurve kennzeichnet. Dies ist nachteilig, da das Fahrzeug weniger intuitiv zu beherrschen ist und somit zusätzliche Anforderungen an das Können des Fahrers gestellt werden. Hierbei äußerten sich diese bezüglich des Ansprechverhaltens relativ positiv, wobei jedoch gleichzeitig immer der starke Leistungsabfall ab  $8000\text{min}^{-1}$  kritisiert wurde. Ausgehend davon stellt die Verkürzung der Saugrohre somit das primäre Konstruktionsziel bei der Verbesserung der Ansauganlage dar.

Eine Verkürzung der Saugrohre würde sich zudem positiv auf das Gewicht des Gesamtsystems, welches durch den Einsatz von kohlefaserverstärktem Kunststoff um 15% verringert werden konnte, auswirken. Dies scheint im Vergleich zum gesamten Fahrzeug relativ wenig zu sein, da auch die nachträglichen Verbesserungen am Verteilervolumen sowie dem Aluminiumteil zu einem größeren Gewicht führten, als ursprünglich geplant. Dieses Gewicht lässt sich jedoch durch eine andere Bauteilgestaltung im Vorfeld der Fertigung leicht kompensieren, wodurch sich der Einsatz von kohlefaserverstärkten Kunststoffen für die Herstellung der Ansauganlage generell als vorteilhaft einschätzen lässt, insbesondere da die finanziellen Aufwendungen durch die Unterstützung der Cotesa GmbH gering waren und auch die Fertigung innerhalb eines akzeptablen Zeitrahmens bewerkstelligt werden konnte.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansaugtrakt für einen Formula Student Rennwagen entwickelt und hergestellt. Darüber hinaus wurden verschiedene Tests durchgeführt, um die Konstruktion anhand von vorgegebenen Kenngrößen bewerten zu können. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bilden hierbei eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen des Hochschulteam in diesem Bereich des Rennwagenbaus.

Obwohl die entwickelte Ansauganlage erfolgreich beim Rennen am Hockenheimring eingesetzt wurde, weist diese dennoch ein großes Potential für Verbesserungen auf. Hierbei ist zunächst die Verringerung der Saugrohrlänge von entscheidender Bedeutung, um den starken Leistungsabfall des Motors im mittleren Drehzahlbereich zu vermeiden. Darüber hinaus sollte versucht werden, eine bessere Gleichverteilung der Luft auf die einzelnen Zylinder zu realisieren, wobei dies durch eine mittige Ansaugung erreicht werden könnte. Generell sollte in diesem Zusammenhang über den Einsatz einer Trockensumpfschmierung nachgedacht werden, um den Motor tiefer einbauen zu können, wodurch mehr Bauraum für den Ansaugtrakt zur Verfügung stehen würde. Abgesehen davon empfiehlt es sich, das Verteilervolumen waagrecht anzuordnen, um die Ansammlung von Kraftstoff innerhalb des Ansaugtraktes zu vermeiden, wodurch in der Folge die gelegentlichen Verpuffungen während des Startens vermieden werden könnten.

Zudem empfiehlt es sich, den Motor und die dazugehörigen Komponenten ausgiebiger und sehr viel früher im Projektverlauf zu testen, um Fehler frühzeitig erkennen zu können. Dadurch würde selbst bei größeren Problemen genügend Zeit zur Verfügung stehen, um diese zu beheben und in der Folge ein konkurrenzfähiges Fahrzeug entwickeln zu können.

Abgesehen davon sollten die bei der Herstellung der kohlefaserverstärkten Bauteile gewonnen Erkenntnisse genutzt werden, um andere Fahrzeugkomponenten ebenfalls aus diesem Werkstoff herzustellen, wodurch sich das Gesamtgewicht des Fahrzeugs signifikant verringern lassen würde.



## **Anlage A: Leistungsdiagramme**

- A.1 Leistungs-/ Drehmomentdiagramm Saison 2008
- A.2 Leistungs-/ Drehmomentdiagramm Saison 2009
- A.3 Gangdiagramm Saison 2009

# Leistung und Drehmoment Test Start 32 Test 1

DATA626,

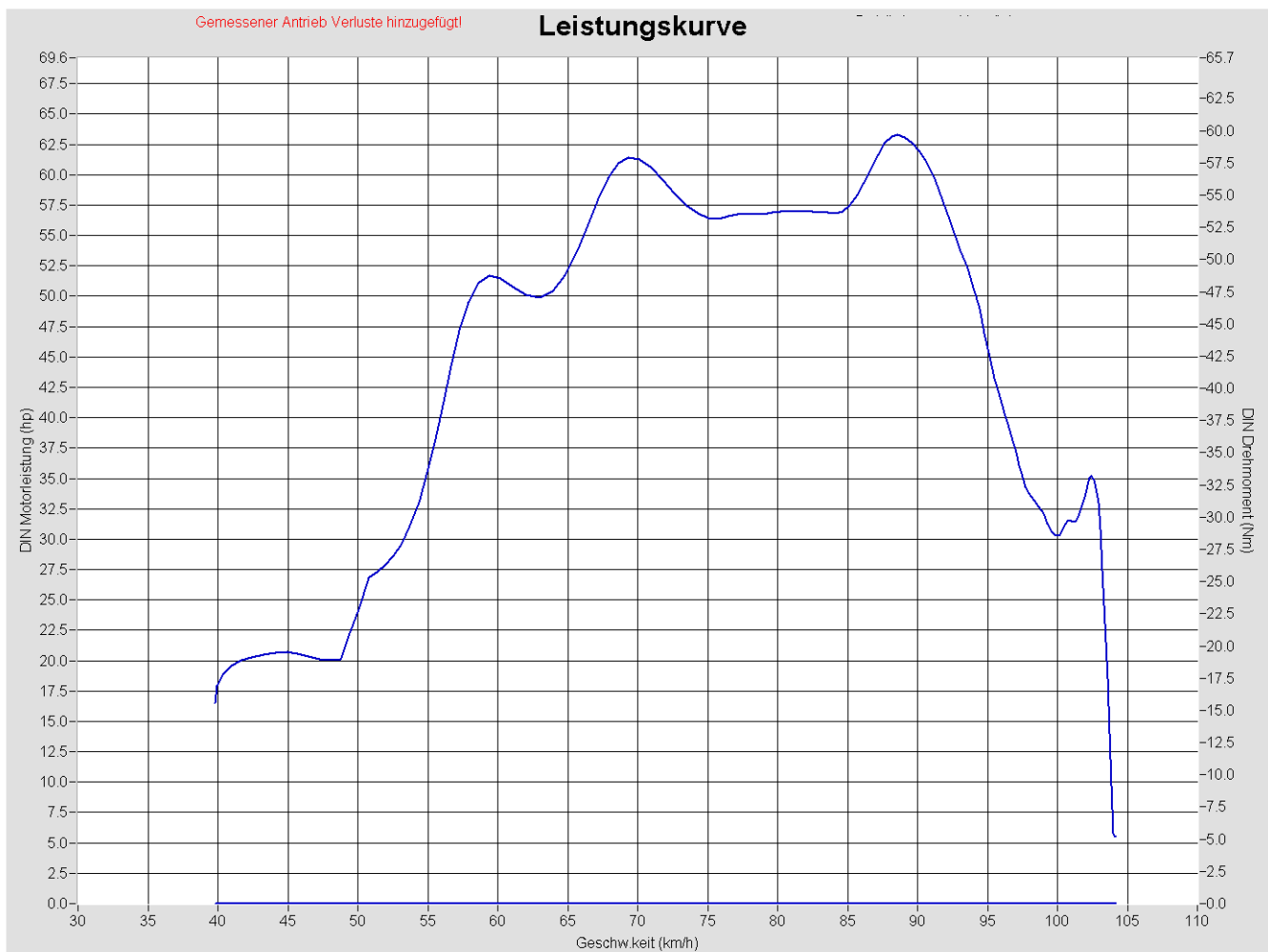


# EVS Elektronik

Hoffeld 11  
94107 Untergriesbach  
Tel: +49 (0)8593/939810  
Fax: +49 (0)8593/939809

Handy:  
e-Mail: [evs-electronic@web.de](mailto:evs-electronic@web.de)

Abdruckdatum Thursday, 30. July 2009  
Abdruckzeit 17:50:39  
Version 5.15e6



### Tests:

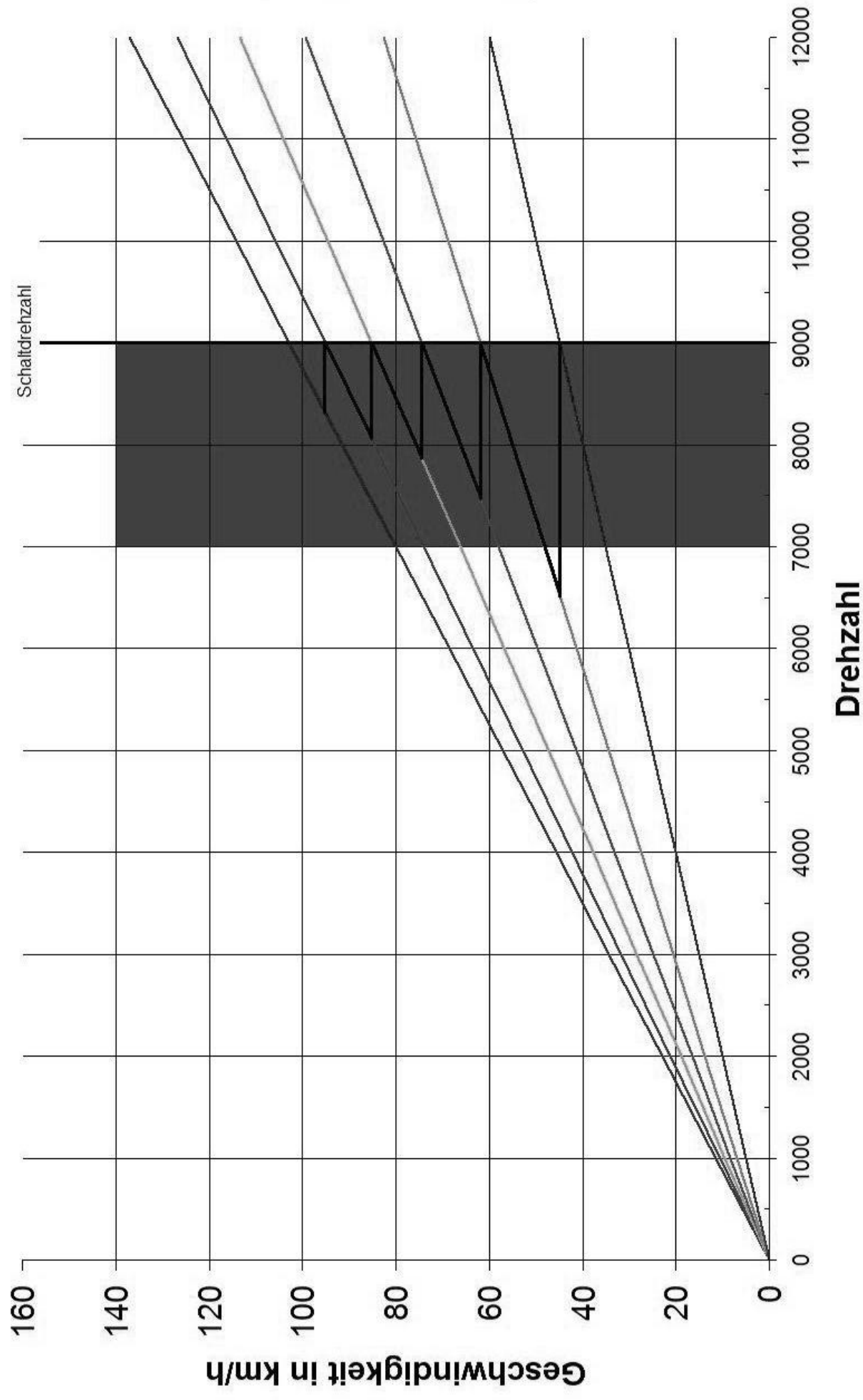
	Testdaten	Titel Test	p Luft(mBar)	T Luft°C	DIN	Datum & Zeit	Maximale Werte
1	FH Mittweida.042		966.0	26.9	1.061	30-07-2009 / 17:49:22	63.3Hp@ 88km/h / 0Nm@ 40km/h

### Aufzeichnungen:

[\Honda\CBR600\FH Mittweida\](#)

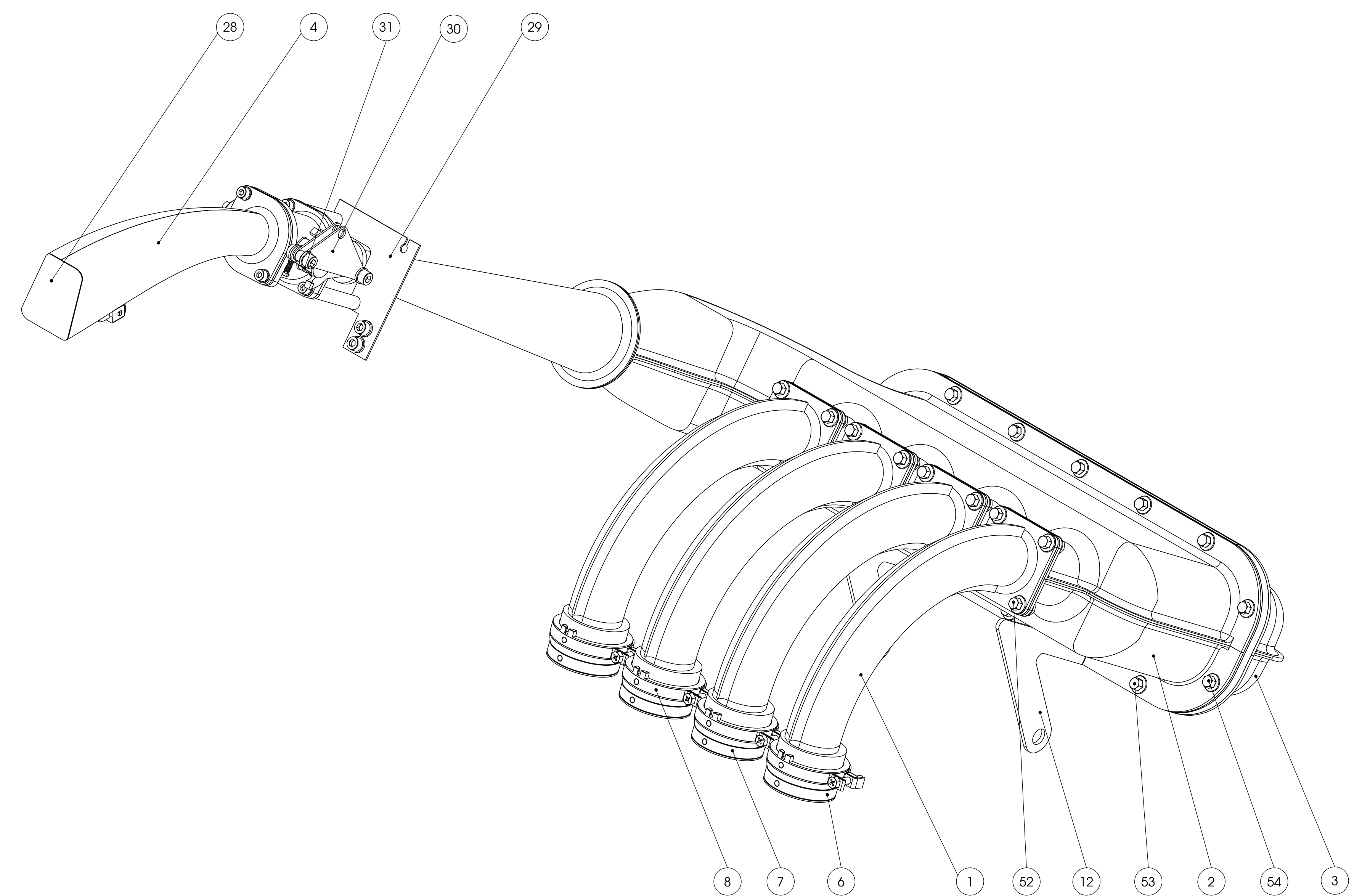
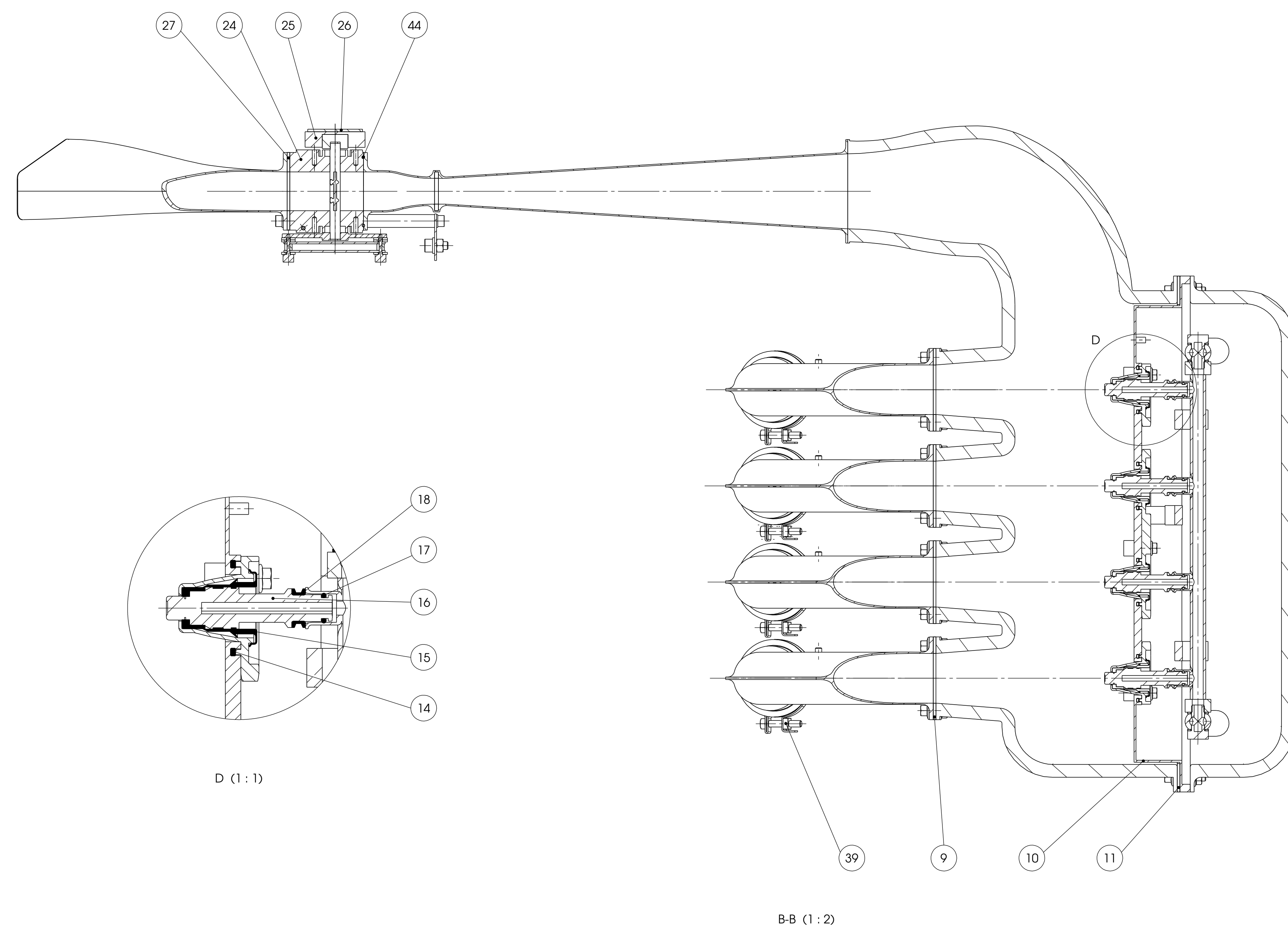
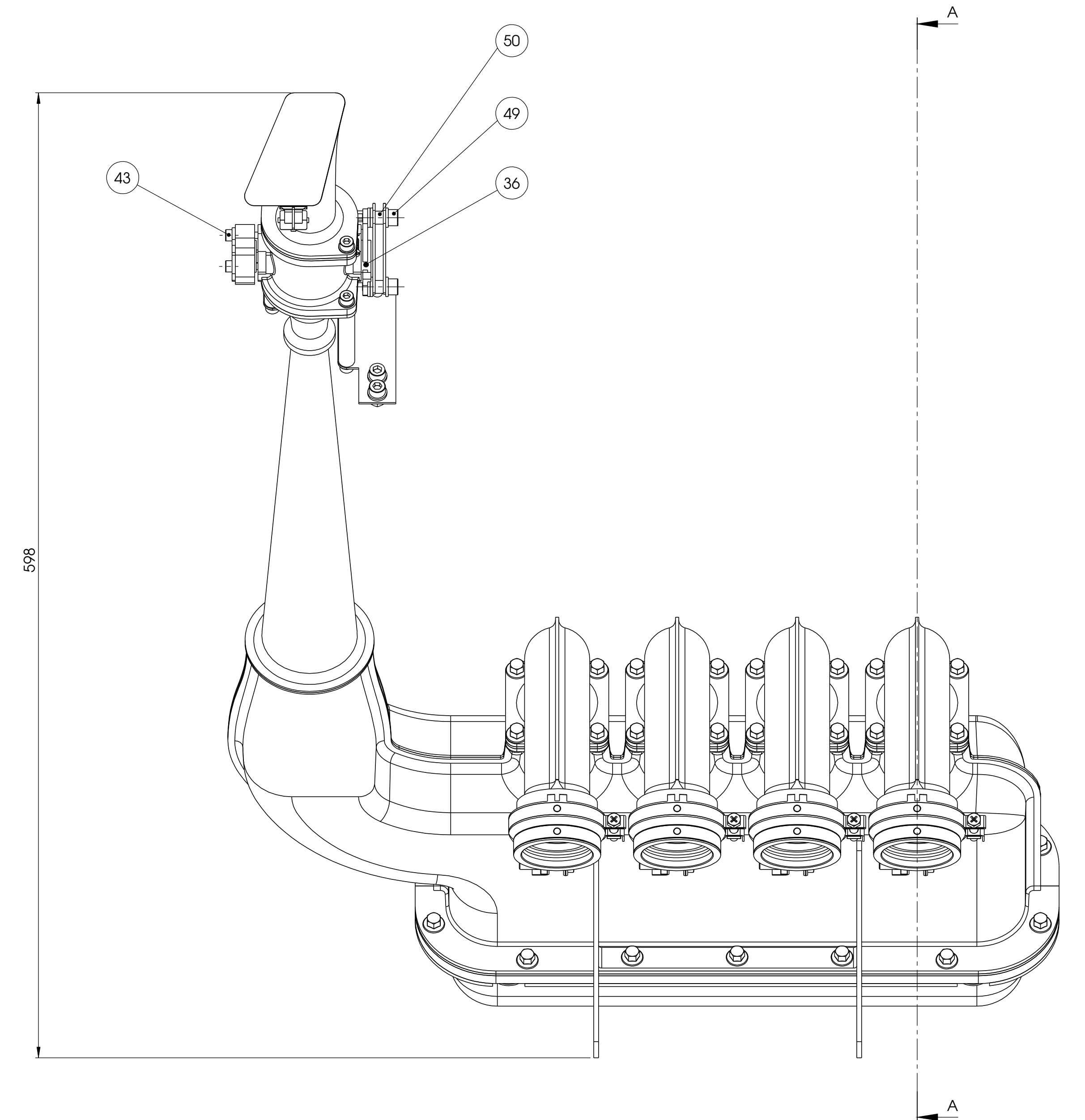
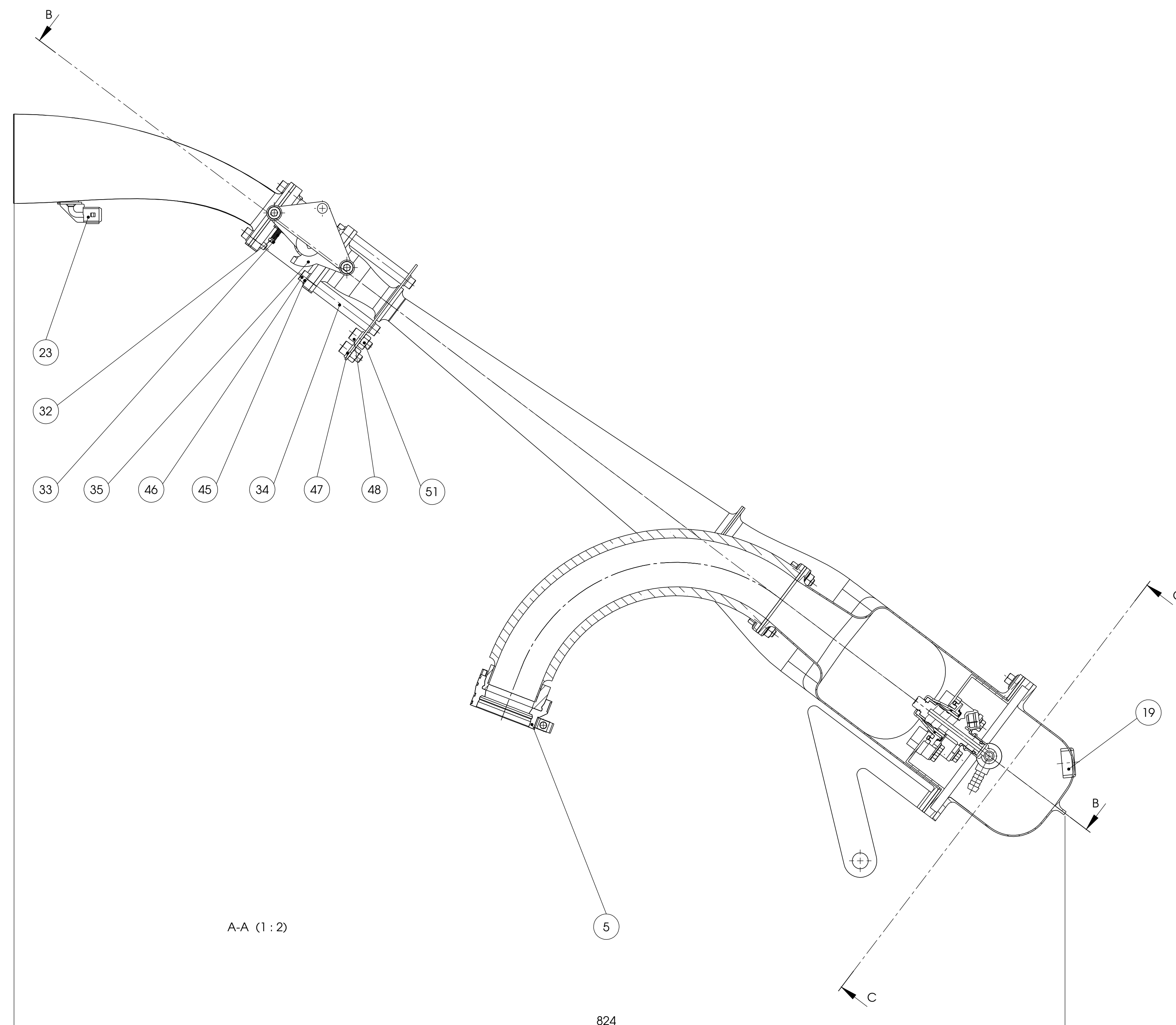
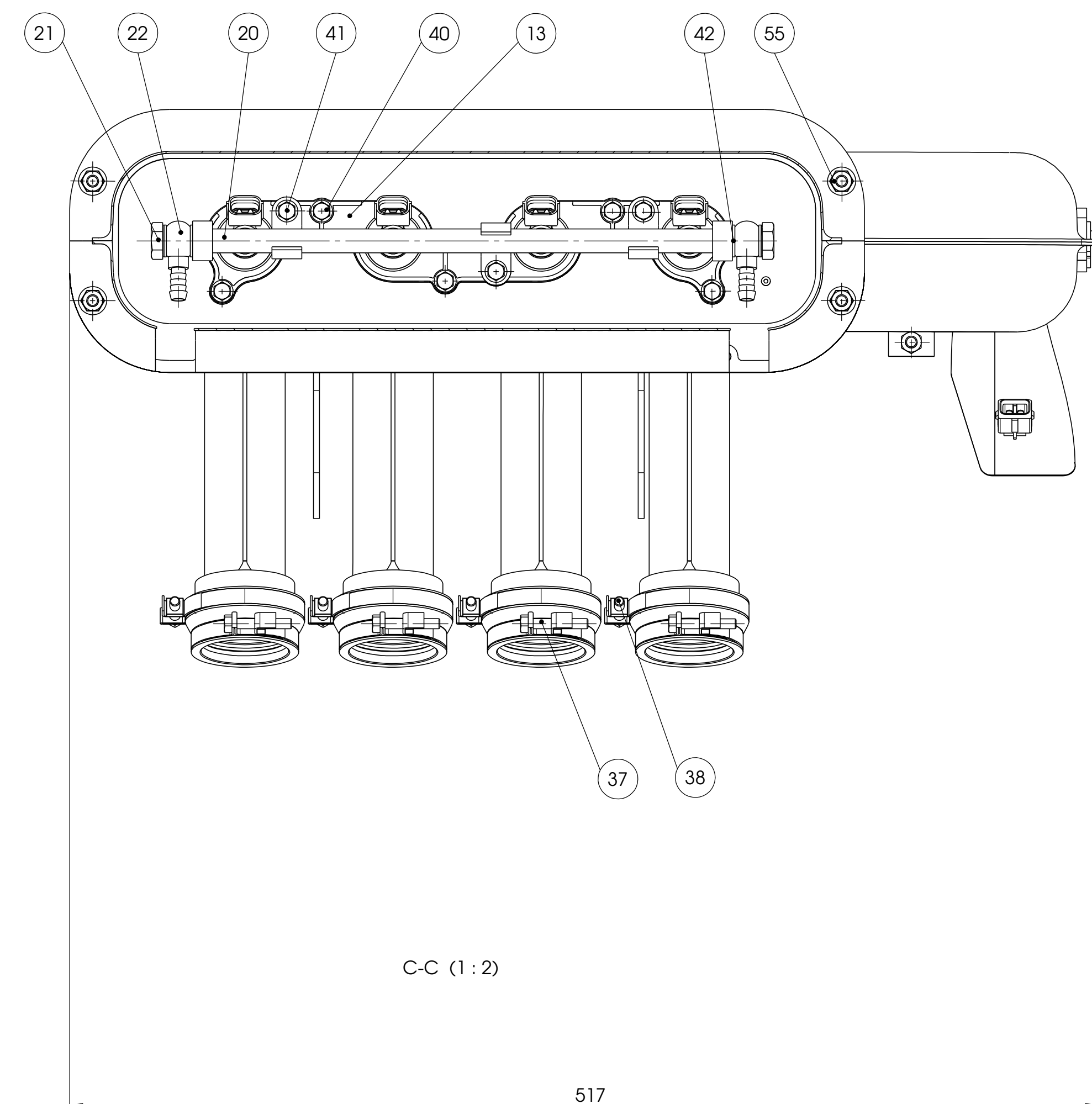


# Geschwindigkeit-Drehzahl



## Anlage B: Technische Zeichnungen / Stücklisten

- B.1 Baugruppenzeichnung Ansaugtrakt
  - Stückliste Ansaugtrakt
  - Teilzeichnung Dichtung Saugrohr
  - Teilzeichnung Befestigungsblech
  - Teilzeichnung Dichtung Befestigungsblech
  - Teilzeichnung Halterung Verteilervolumen
  - Teilzeichnung Dichtung Filter
  - Teilzeichnung Bowdenzughalterung
  - Teilzeichnung Bowdenzugblech
  - Teilzeichnung Gewindehülse
  - Teilzeichnung Distanzhülse
- B.2 Baugruppenzeichnung Saugrohr
  - Stückliste Saugrohr
  - Teilzeichnung Saugrohraufnahme
- B.3 Baugruppenzeichnung Verteilervolumen
  - Stückliste Verteilervolumen
  - Teilzeichnung Durchflussbegrenzerring
- B.4 Baugruppenzeichnung Deckel
  - Stückliste Deckel
- B.5 Baugruppenzeichnung Luftfilter
  - Stückliste Luftfilter
- B.6 Baugruppenzeichnung Kraftstoffleiste
  - Stückliste Kraftstoffleiste
  - Teilzeichnung Gewindestück



Verantwortungsbereich:		Zust.Nr.:		Dossier:		Datum: 1-2		Gewicht: 6,8kg	
Klasse		Werkstoff (Hilfszeug):		CRK					
BIN US 2768 m		Bauteil-Nr.1		Bauteil-Nr.2					
Thema:		Thema:		Thema:					
Datum:		Datum:		Datum:					
Hochschule:		Hochschule:		Hochschule:					
Mittweida		Mittweida		Mittweida					
1-21-00-00 STL		1-21-00-00 STL		1-21-00-00 STL					
Blatt:		Blatt:		Blatt:					
1		1		1					

1	2	3	4			5		6
Pos.	Menge	Einheit	Benennung			Sachnummer/ Norm- Kurzbezeichnung		Bemerkung
1	4	Stück	Saugrohr			1-21-01-00		Kohlefaserverstärker Kunststoff
2	1	Stück	Verteilervolumen			1-21-02-00		Kohlefaserverstärker Kunststoff, V=3,9l
3	1	Stück	Deckel			1-21-03-00		Kohlefaserverstärker Kunststoff
4	1	Stück	Filter			1-21-04-00		Kohlefaserverstärker Kunststoff
5	4	Stück	Isolator, Drosselgehäuse					Originalteil Honda CBR 600 RR
6	4	Stück	Band A, Isolator					Originalteil Honda CBR 600 RR
7	2	Stück	Band B, Isolator					Originalteil Honda CBR 600 RR
8	2	Stück	Band C, Isolator					Originalteil Honda CBR 600 RR
9	4	Stück	Dichtung Saugrohr			1-21-00-01		Fluorkautschuk, d = 2 mm
10	1	Stück	Befestigungsblech			1-21-00-02		Aluminium, d = 1,5 mm
11	1	Stück	Dichtung Befestigungsblech			1-21-00-03		Fluorkautschuk, d = 2 mm
12	1	Stück	Halterung Verteilervolumen			1-21-00-04		Aluminium, d = 2 mm
13	1	Stück	Gehäuse, Einspritzung					Originalteil Honda CBR 600 RR
14	4	Stück	Dichtring, Einspritzung					Originalteil Honda CBR 600 RR
15	4	Stück	Dichtring, Injektor					Originalteil Honda CBR 600 RR
16	4	Stück	Benzininjektor					Originalteil Honda CBR 600 RR
17	4	Stück	O-Ring					Originalteil Honda CBR 600 RR
18	4	Stück	Kissenring, Injektor					Originalteil Honda CBR 600 RR
19	1	Stück	Rücklicht					Lieferant: Polo
20	1	Stück	Kraftstoffleiste			1-21-05-00		Originalteil Honda CBR 600 RR, Modifiziert
21	2	Stück	Hohlschraube			M10 x 1.0		Lieferant: ISA Racing
22	2	Stück	Ringstück			M10		Lieferant: ISA Racing
23	1	Stück	Lufttemperaturmesser					Hersteller Bosch
24	1	Stück	Drosselklappe			Jenvey Single 2-Bolt T. Body 30 mm (ST30/0/0)		Lieferant: EVS Elektronik
25	1	Stück	Potentiometer			Throttle Pot - Colvern CP17 - Motorsport spec. (TP1)		Lieferant: EVS Elektronik
26	1	Stück	Befestigungsblech Potentiometer			Throttle Pot clamp kit – Colvern		Lieferant: EVS Elektronik
27	1	Stück	Dichtung Filter			1-21-00-05		Fluorkautschuk, d = 2 mm
0	Erstausgabe		31.03.09			Datum	Name	Ansaugtrakt
					Bearb.	31.03.09	Kloppe	
					Gepr.			
					Norm			
					Hochschule  Mittweida (FH)	(Zeichnungsnummer)		Blatt
								1
								3 Bl.
Rev.	Änderung		Datum	Name	(Ursprung)		(Ersatz) für	(Ersatz) durch

1	2	3	4			5		6	
Pos.	Menge	Einheit	Benennung			Sachnummer/ Norm- Kurzbezeichnung		Bemerkung	
28	1	Stück	Filtergitter						
29	1	Stück	Bowdenzughalterung			1-21-00-06		Aluminium	
30	2	Stück	Bowdenzugblech			1-21-00-07		Aluminium	
31	1	Stück	Drehfeder					Enthalten bei Drosselklappe	
32	1	Stück	Justierfeder					Enthalten bei Drosselklappe	
33	1	Stück	Justierschraube					Enthalten bei Drosselklappe	
34	2	Stück	Gewindehülse			1-21-00-08		Aluminium	
35	1	Stück	Drosselblech					Enthalten bei Drosselklappe	
36	1	Stück	Zylinderstift mit Innensechskant			ISO 4027 – M3 x 8		Enthalten bei Drosselklappe	
37	4	Stück	Versenkte Schraube M5 x 30					Originalteil Honda CBR 600 RR	
38	4	Stück	Versenkte Schraube M5 x 28					Originalteil Honda CBR 600 RR	
39	8	Stück	Vierkantmutter M5					Originalteil Honda CBR 600 RR	
40	5	Stück	Flanschschraube, 5 x 14					Originalteil Honda CBR 600 RR	
41	3	Stück	Flanschschraube, 6 x 12					Originalteil Honda CBR 600 RR	
42	4	Stück	Dichtring			DIN 7603 – M10		Material: Aluminium	
43	2	Stück	Zylinderschraube mit Innensechskant			ISO 4762 – M4 x 25		Enthalten bei Befestigungsblech Poti	
44	1	Stück	O-Ring			DIN 3771 – 53 x 2.65		Enthalten bei Drosselklappe	
45	6	Stück	Unterlegscheibe			ISO 7089 – M5 Reihe A		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
46	6	Stück	Zylinderschraube mit Innensechskant			ISO 4762 – M5 x 16		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
47	8	Stück	Unterlegscheibe			ISO 7089 – M6 Reihe A		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
48	2	Stück	Zylinderschraube mit Innensechskant			ISO 4762 – M6 x 12		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
49	2	Stück	Zylinderschraube mit Innensechskant			ISO 4762 – M6 x 16		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
50	2	Stück	Distanzhülse			1-21-00-09		Aluminium	
51	2	Stück	Sechskantmutter			ISO 4032 – M6		Lieferant: Adolf Würth GmbH & Co. KG	
52	16	Stück	Sechskantschraube mit Flansch			ISO 4162 – M6 x 16		Lieferant: B-L Schrauben und Dübel	
53	10	Stück	Sechskantschraube mit Flansch			ISO 4162 – M6 x 12		Lieferant: B-L Schrauben und Dübel	

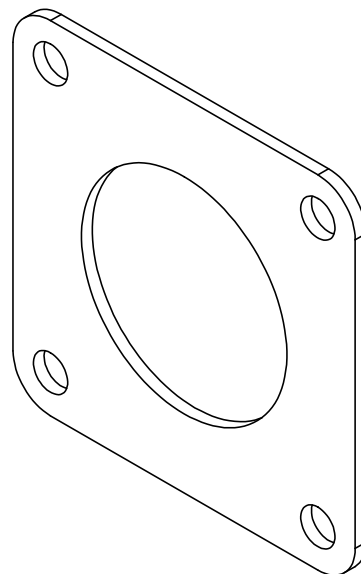
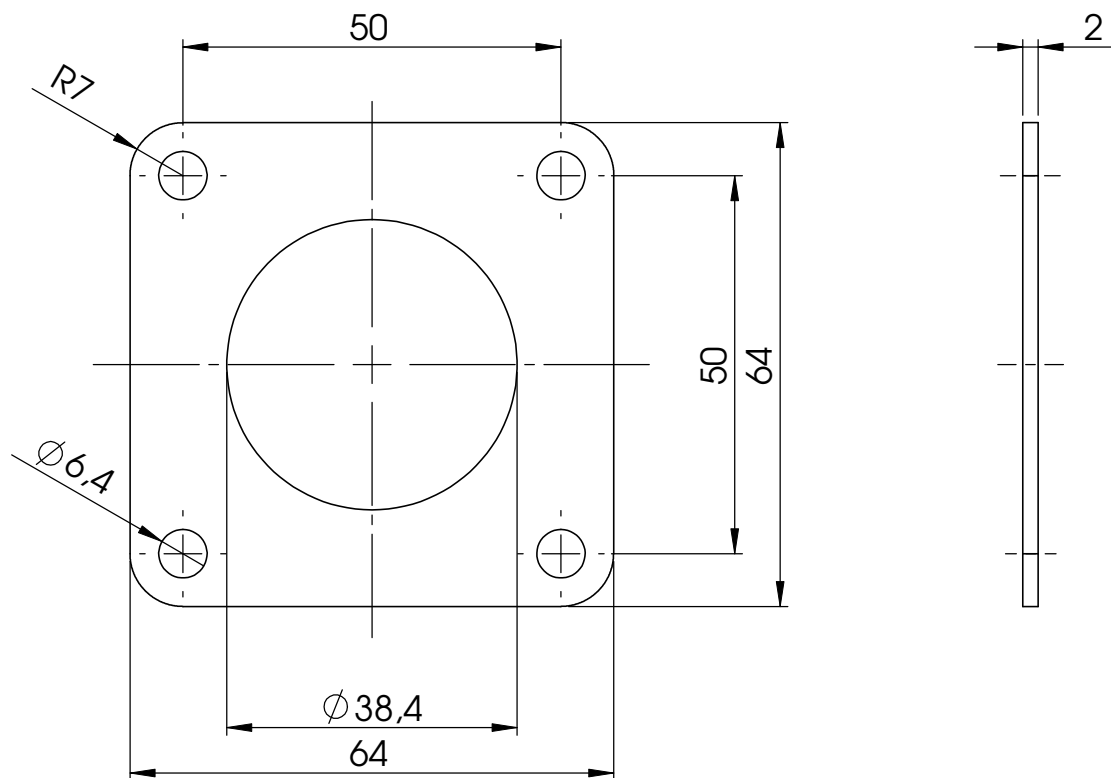
0	Erstausgabe		31.03.09			Datum	Name	(Benennung)	
					Bearb.	31.03.09	Kloppe		
					Gepr.				
					Norm				
					<div>Hochschule Mittweida (FH)</div> <div></div>			(Zeichnungsnummer)	Blatt 2
								1-21-00-00 STL	
Rev.	Änderung		Datum	Name	(Ursprung)			(Ersatz) für	(Ersatz) durch




1	2	3	4	5	6		
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/ Norm- Kurzbezeichnung	Bemerkung		
54	4	Stück	Sechskantschraube mit Flansch	ISO 4162 – M6 x 25	Lieferant: B-L Schrauben und Dübel		
55	20	Stück	Sechskantmutter mit Flansch	ISO 4161 – M6	Lieferant: B-L Schrauben und Dübel		
			Material für kohlefaserverstärkte Kunststoffteile				
1	5	m	Kohlegewebe 160g (Aero) Körper		Lieferant: R&G Faserverbundwerkstoffe		
2	5	kg	Harz Type AH 140		Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
3	1.5	kg	Härter Type TC 30		Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
4	1	l	Porenversiegler		Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
5	2	Platte	Kunststoffblockmaterial	Ebaboard s / 1500 x 500 x 75	Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
6	0.26	kg	Harz Kleber für Plattenware		Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
7	0.14	kg	Härter Kleber für Plattenware		Lieferant: Ebalta Kunststoff GmbH		
8	1	m	Kohleroving		Lieferant: Cotesa GmbH		
9	0.5	l	Trennmittel		Lieferant: Cotesa GmbH		
10	0.5	l	Formreiniger		Lieferant: Cotesa GmbH		
11	3	m²	Abreißgewebe		Lieferant: Cotesa GmbH		
12	3	m²	Lochfolie		Lieferant: Cotesa GmbH		
13	3	m²	Saugvlies		Lieferant: Cotesa GmbH		
14	3	m²	Vakuumsack		Lieferant: Cotesa GmbH		
15	6	m	Dichtband		Lieferant: Cotesa GmbH		
16	5	Stück	Laminierpinsel		Lieferant: Cotesa GmbH		
17	5	Stück	Laminierhandschuhe		Lieferant: Cotesa GmbH		
18	20	Stück	Schleifpapier	Verschiedene Körnungen (240er, 600er)			
19	1	Stück	Hitzebeständiger Klarlack				
0	Erstausgabe	31.03.09		Datum	Name	(Benennung)	
				Bearb.	31.03.09		Ansaugtrakt
				Gepr.			
				Norm			
						(Zeichnungsnummer)	
							1-21-00-00 STL
Rev.	Änderung	Datum	Name	(Ursprung)	(Ersatz) für	(Ersatz) durch	

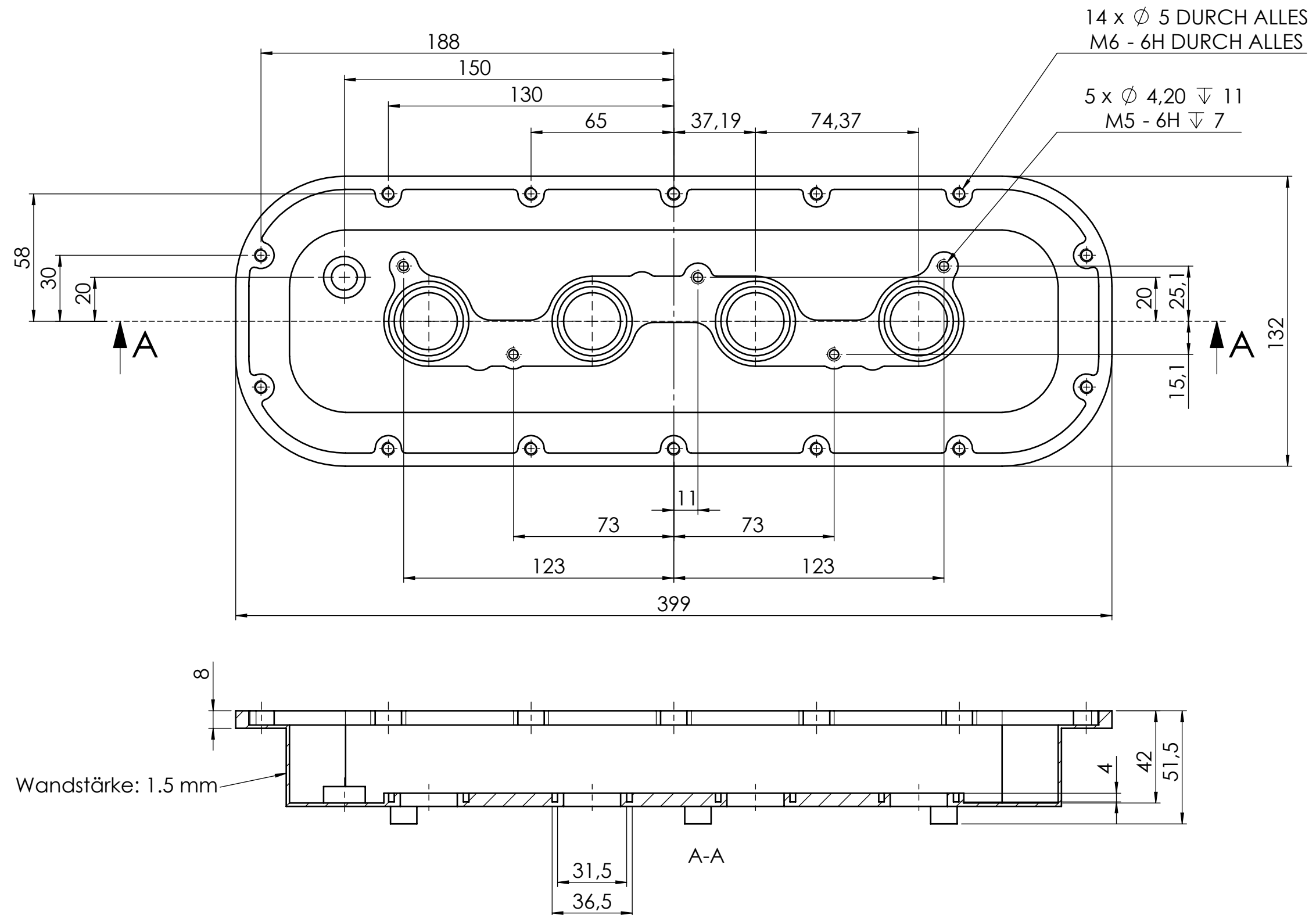
Hochschule  
Mittweida (FH)

Blatt  
3  
3 Bl.



Benötigte Stückzahl: 4

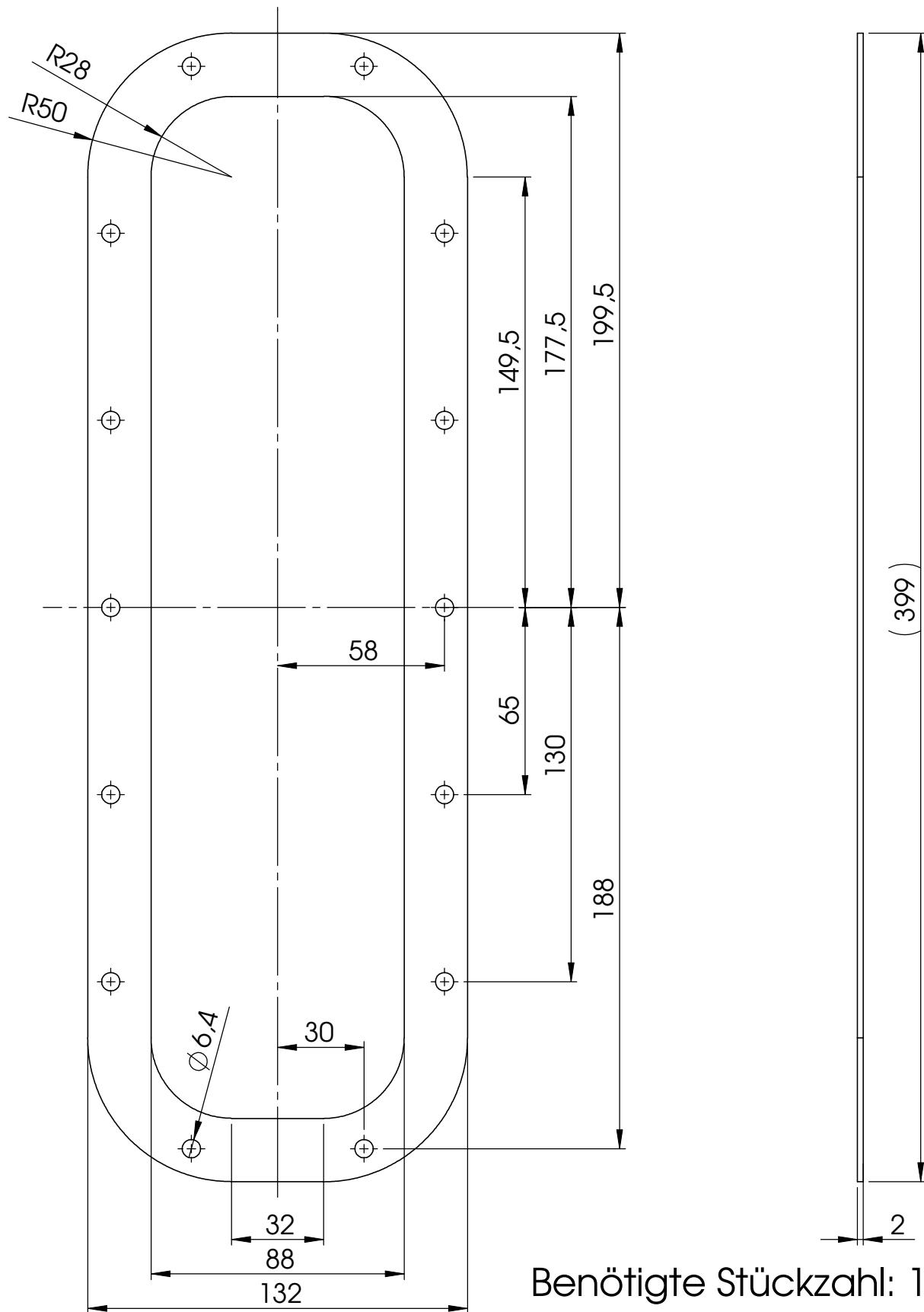
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)		
								(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		Fluorkarbon - Kautschuk		
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Dichtung Saugrohr				
				Bearb.	31.03.09	Kloppe						
				Gepr.								
				Norm								
				Hochschule Mittweida 				1-21-00-01			Blatt 1	
											Blätter 1	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:			Ersatz durch:			



Benötigte Stückzahl: 1

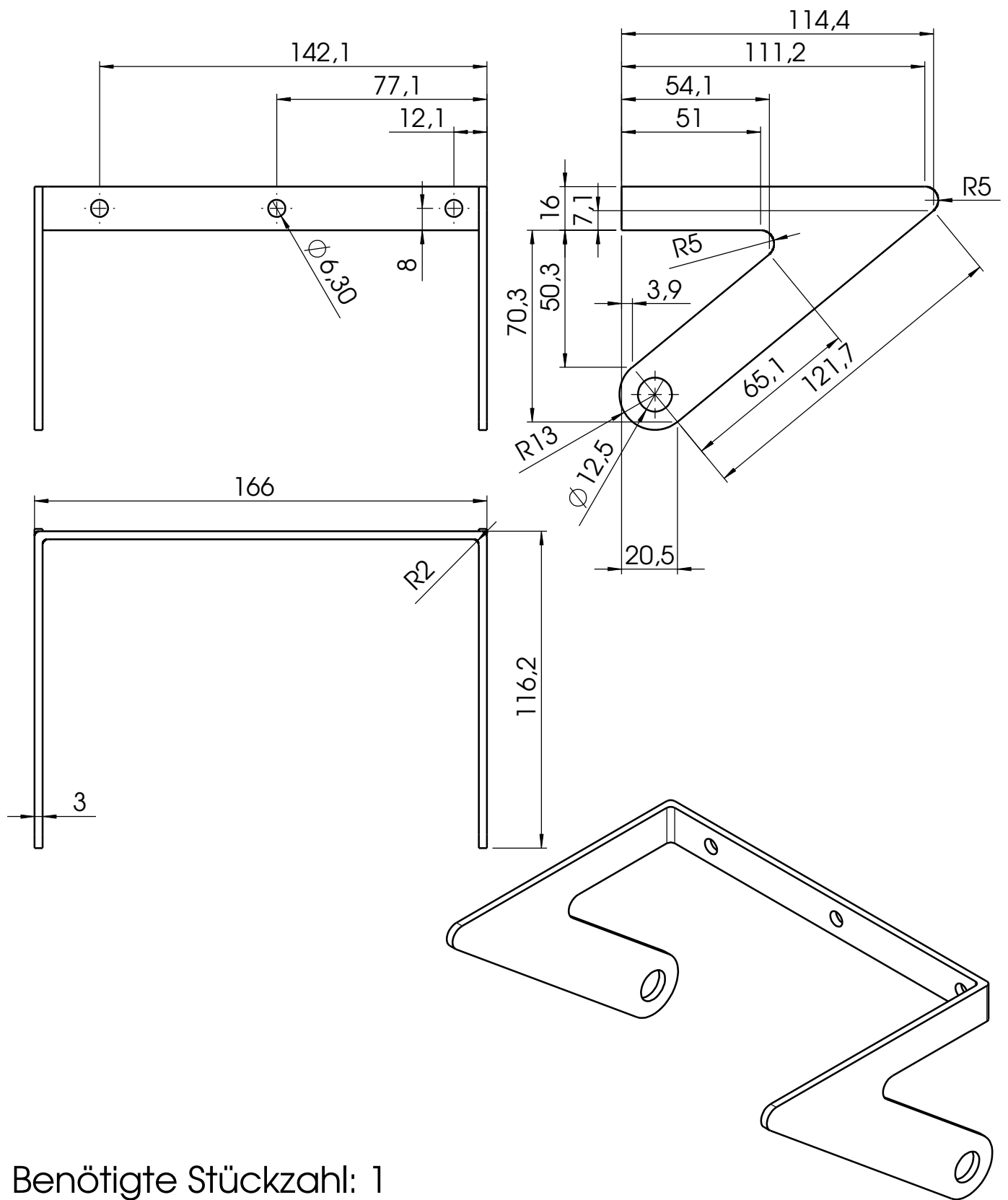
(Verwendungsbereich)			(Zul.Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:2	(Gewicht)
			Klasse			(Werkstoff Halbzeug)	Aluminium
			DIN ISO 2768 m			(Rohteil-Nr.)	
0	Erstausgabe	14.04.09		Datum	Name	Befestigungsblech	
			Bearb.	14.04.09	Kloppe		
			Gepr.				
			Norm				
			Hochschule Mittweida			1-21-00-02	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:

Hinweis: Fertigung erfolgt unter Verwendung einer IGS. Datei




Benötigte Stückzahl: 1

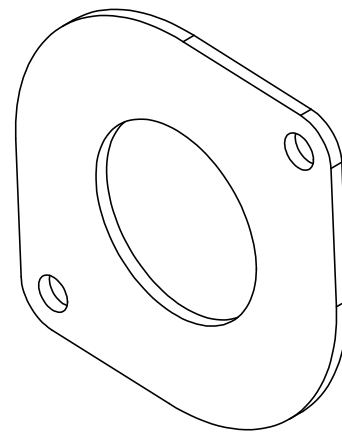
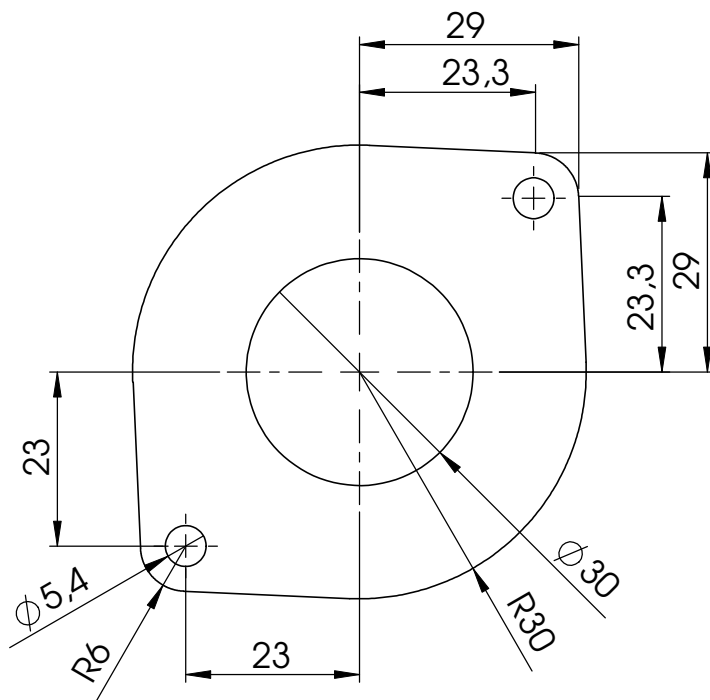
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:2		(Gewicht)			
								(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		Fluorkarbon - Kautschuk			
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Dichtung Befestigungsblech					
				Bearb.	31.03.09	Kloppe							
				Gepr.									
				Norm									
				Hochschule 				1-21-00-03		Blatt 1			
										Mittweida		Blätter 1	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:			Ersatz durch:				



Benötigte Stückzahl: 1

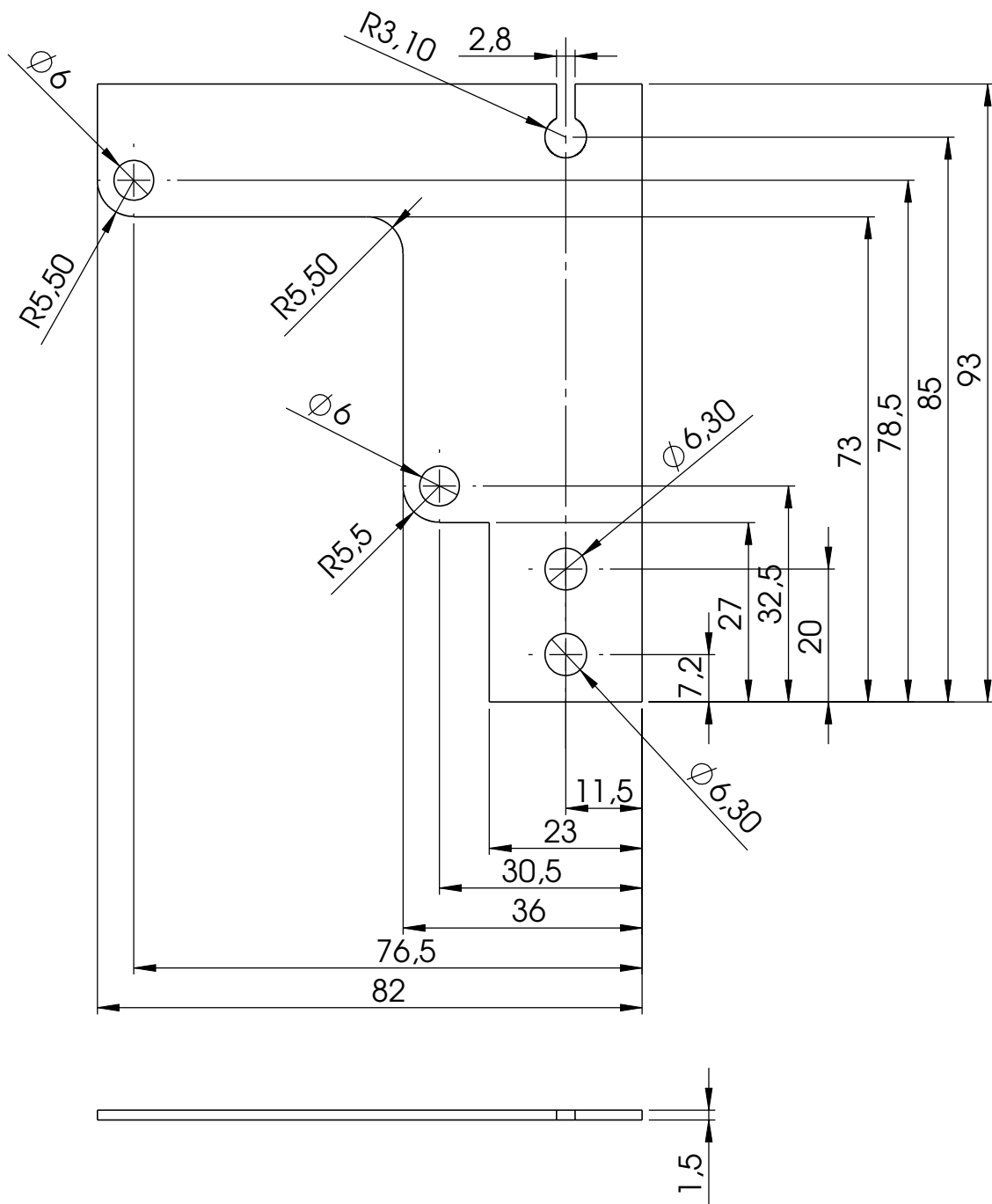
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)	
								(Werkstoff Halbzeug) Aluminium			
								(Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)			
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name	Halterung Verteilervolumen				
				Bearb.	31.03.09	Kloppe					
				Gepr.							
				Norm							
				Hochschule  Mittweida			1-21-00-04				Blatt 1
							Blätter 1				
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:			Ersatz durch:		

Blatt 1  
Blätter 1



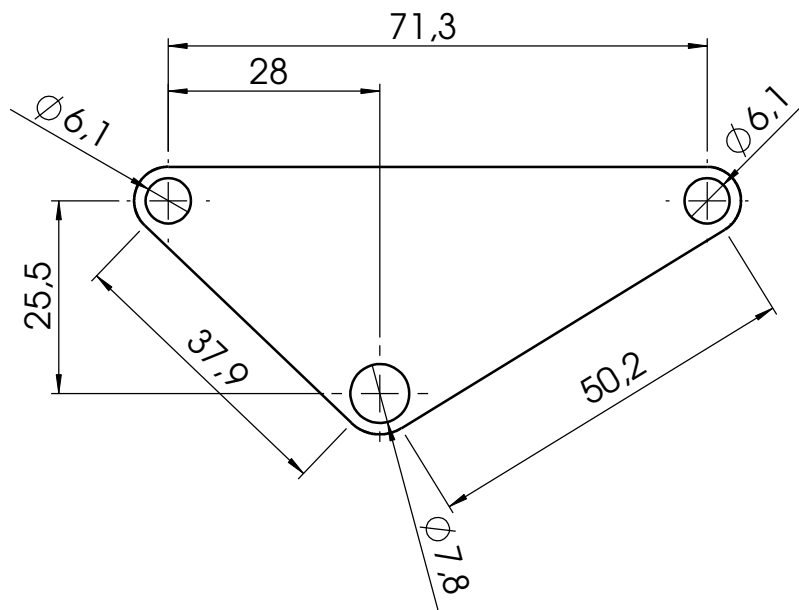
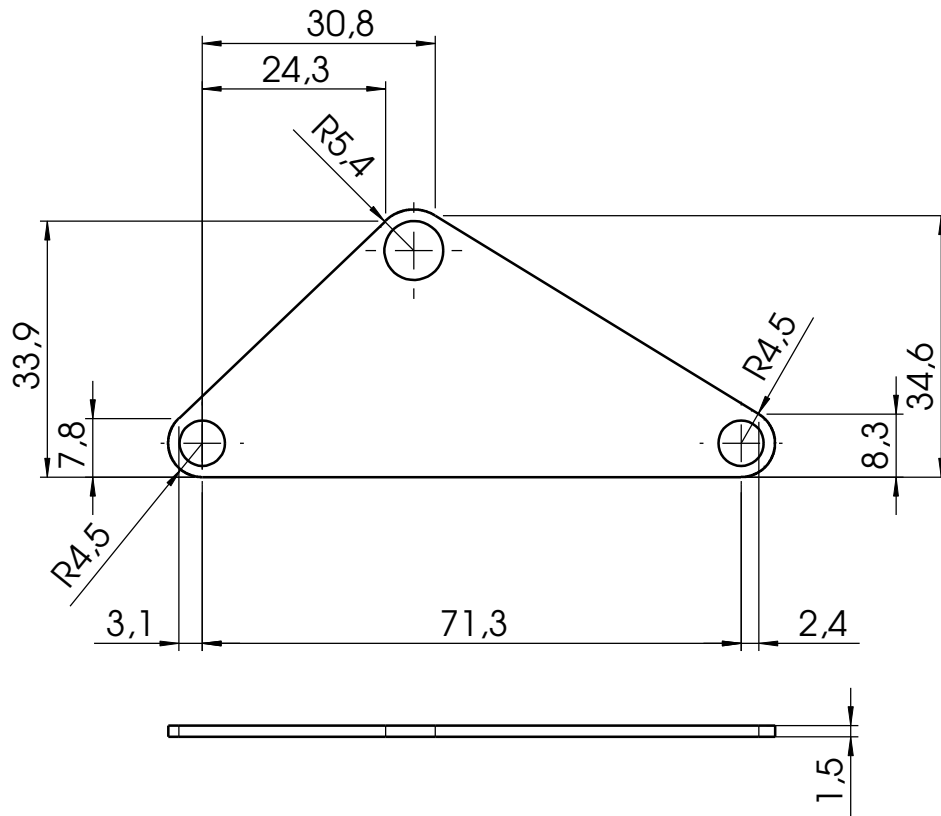
Benötigte Stückzahl: 1

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)		
								(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		Fluorkarbon - Kautschuk		
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Dichtung Filter				
				Bearb.	31.03.09	Kloppe						
				Gepr.								
				Norm								
								1-21-00-05				
				Hochschule 			Blatt 1					
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung		beschn.		Ersatz für:		Ersatz durch:		
										Blätter 1		




Benötigte Stückzahl: 1

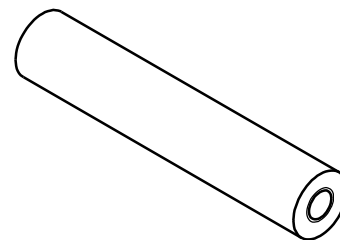
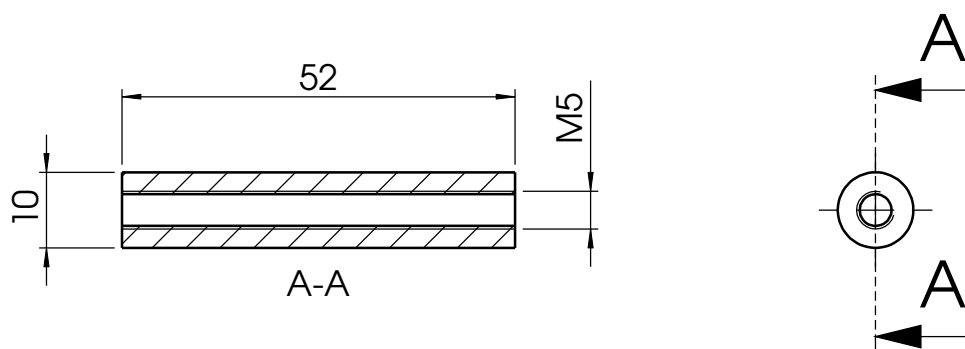
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)	
								(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		Aluminium	
1	Erstausgabe	27.07.09			Datum	Name	Bowdenzughalterung				
				Bearb.	27.07.09	Kloppe					
				Gepr.							
				Norm							
				Hochschule  Mittweida			1-21-00-06				Blatt 1
											Blätter 1
Rev	Änderung	Datum	Name				Ursprung		beschn.	Ersatz für:	



Benötigte Stückzahl: 2

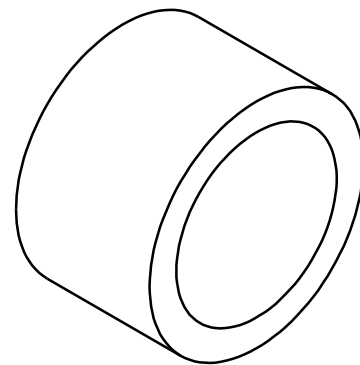
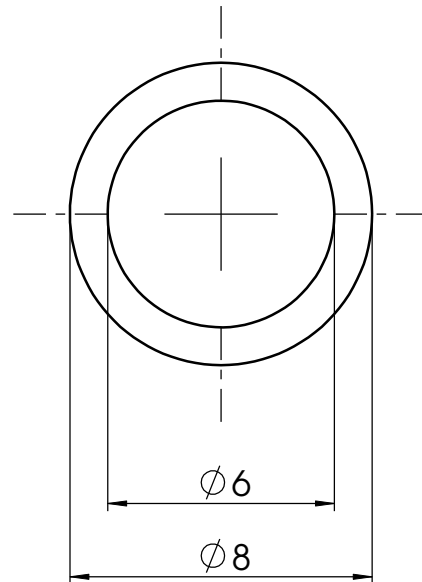
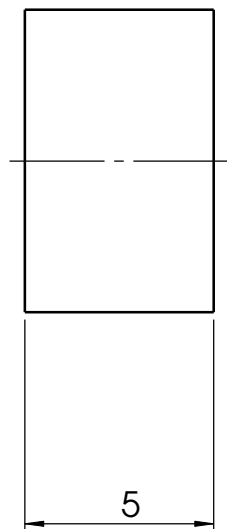
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)		
								(Werkstoff Halbzeug) Aluminium		(Rohteil-Nr.)		
								(Modell- oder Gesenk-Nr.)				
1	Erstausgabe	26.07.09			Datum	Name	Bowdenzugblech					
				Bearb.	26.07.09	Kloppe						
				Gepr.								
				Norm								
				Hochschule  Mittweida			1-21-00-07				Blatt 1	
											Blätter 1	
Rev.	Änderung	Datum	Name				Ursprung		beschn.	Ersatz für:		






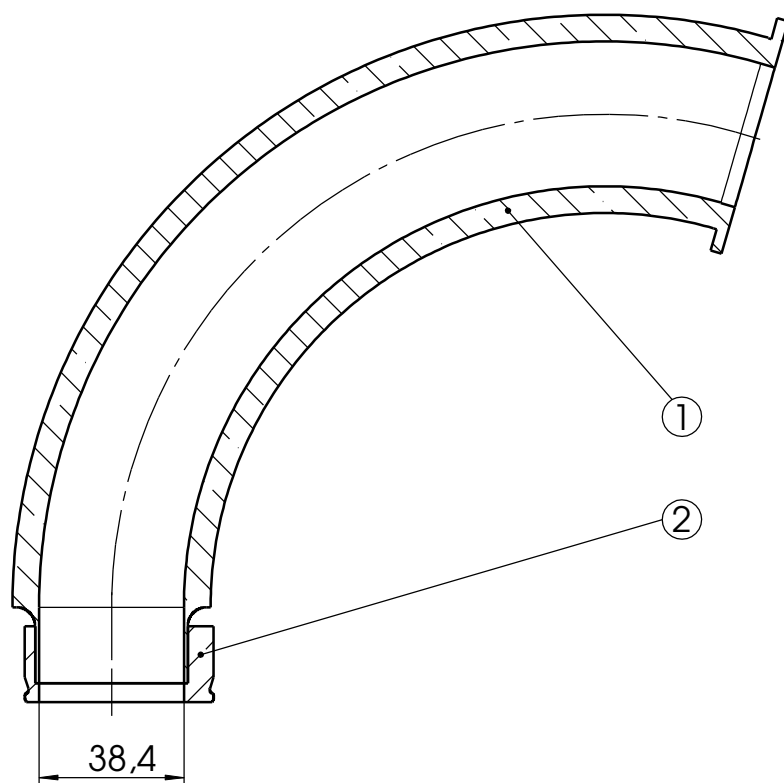
Benötigte Stückzahl: 2

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:1		(Gewicht)		
								(Werkstoff Halbzeug) Aluminium (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)				
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Gewindehülse				
				Bearb.	31.03.09	Kloppe						
				Gepr.								
				Norm								
				Hochschule  Mittweida			1-21-00-08				Blatt 1	
											Blätter 1	
Rev.	Änderung	Datum	Name				Ursprung			beschn.		Ersatz für:

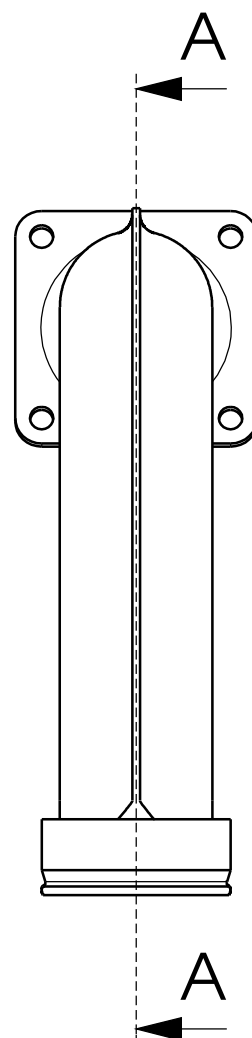


Benötigte Stückzahl: 2


(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 5:1		(Gewicht)			
								(Werkstoff Halbzeug) Aluminium		(Rohteil-Nr.)			
										(Modell- oder Gesenk-Nr.)			
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Distanzhülse					
				Bearb.	31.03.09	Kloppe							
				Gepr.									
				Norm									
				Hochschule  Mittweida				1-21-00-09				Blatt 1	
												Blätter 1	
Rev.	Änderung	Datum	Name					Ursprung		beschn.		Ersatz für:	



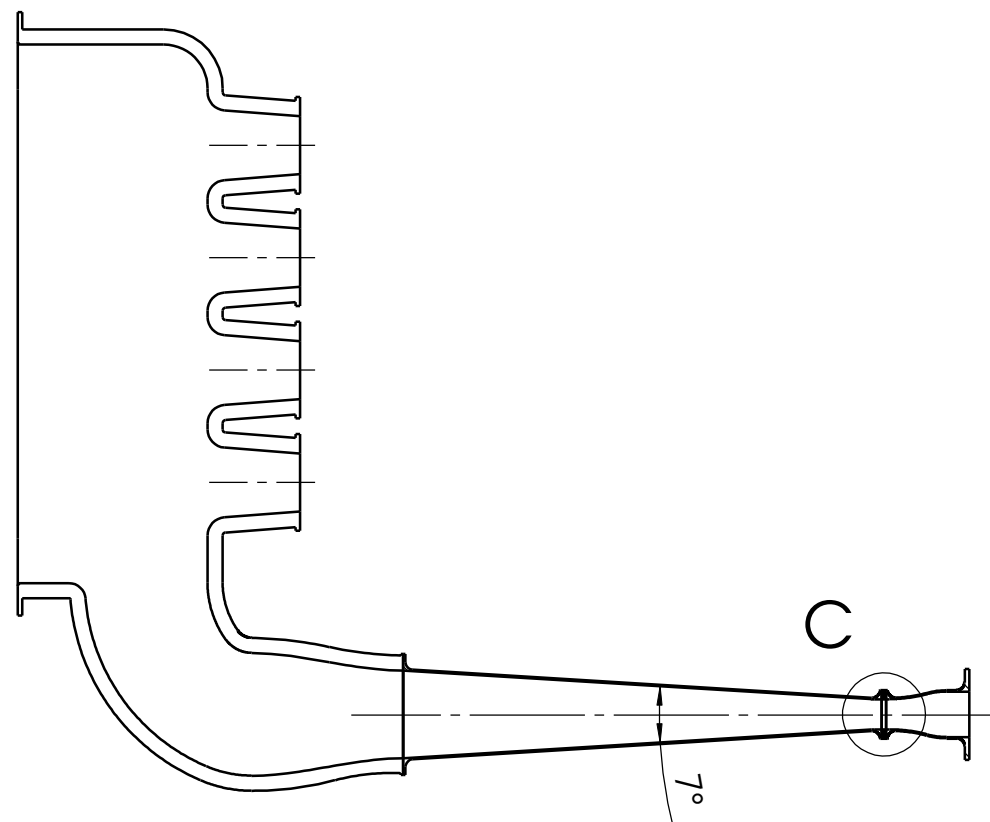
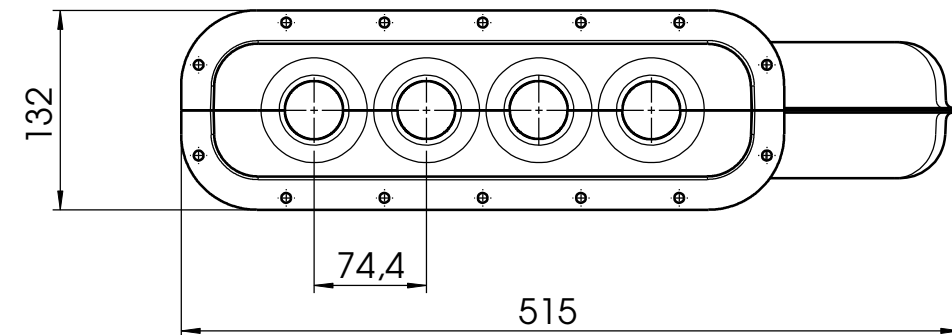
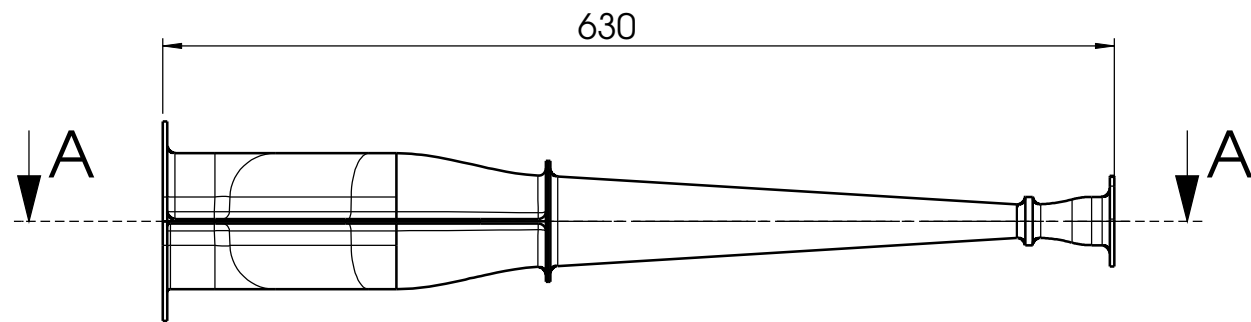
A-A (1 : 2)



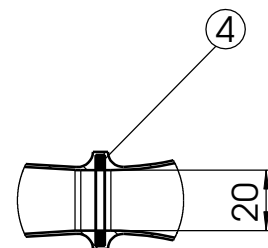
Benötigte Stückzahl: 4

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)	Maßstab 1:2		(Gewicht)							
							(Werkstoff Halbzeug) CFK		(Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)							
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name	Saugrohr									
				Bearb.	31.03.09	Kloppe										
				Gepr.												
				Norm												
							1-21-01-00									
				Hochschule 								Blatt 1				
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:		Blätter 1							

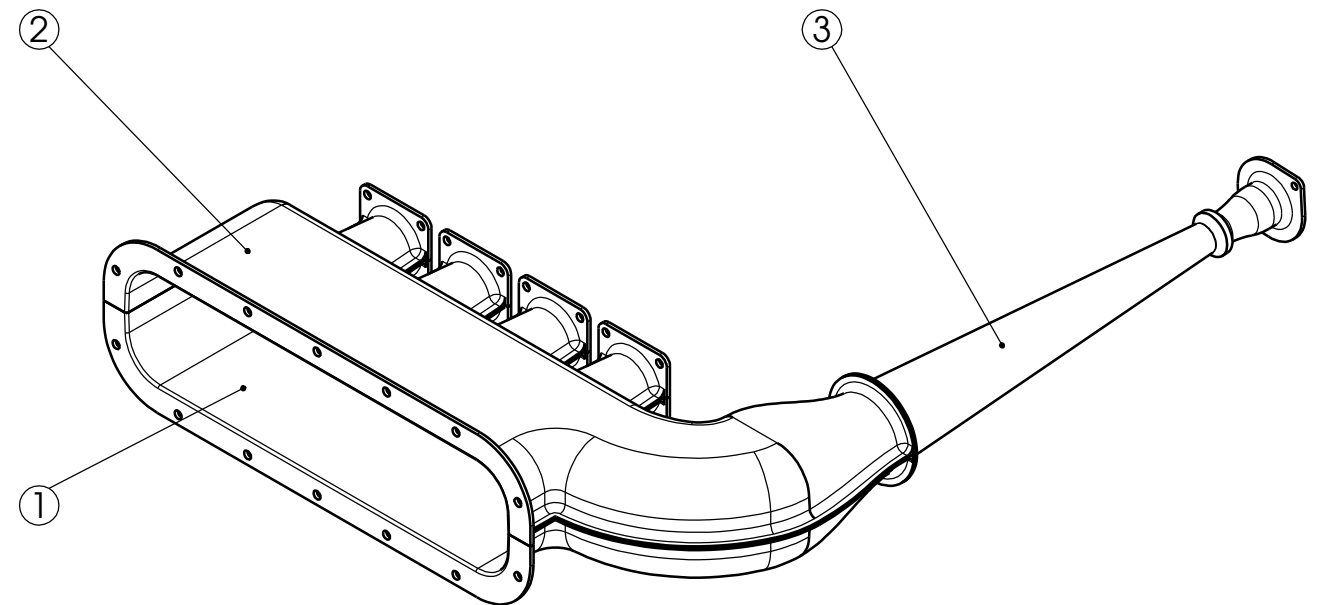
[illegible]



A-A



C (2 : 5)



Benötigte Stückzahl: 1

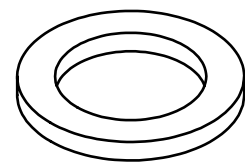
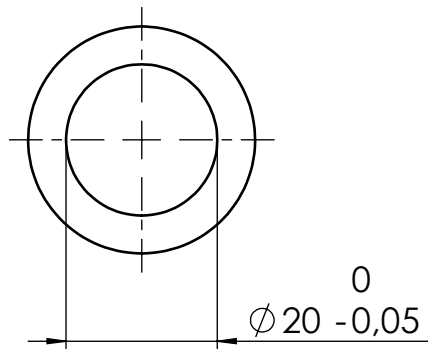
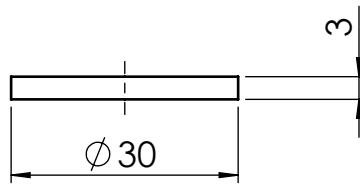
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
				Klasse			(Werkstoff Halbzeug)	CFK
				DIN ISO 2768 m			(Rohteil-Nr.)	
							(Modell- oder Gesenk-Nr.)	
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name	Verteilervolumen	
				Bearb.	31.03.09	Kloppe		
				Gepr.				
				Norm				
							1-21-02-00	
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:	

Hochschule  
Mittweida



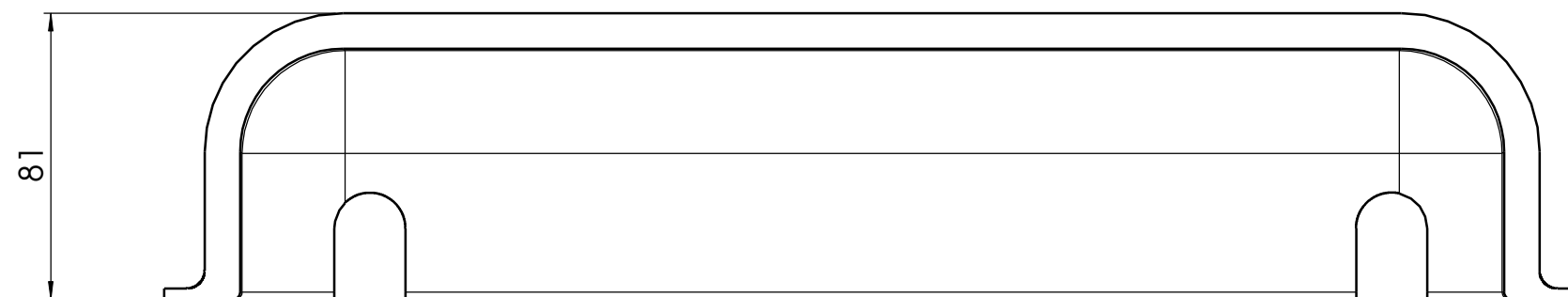
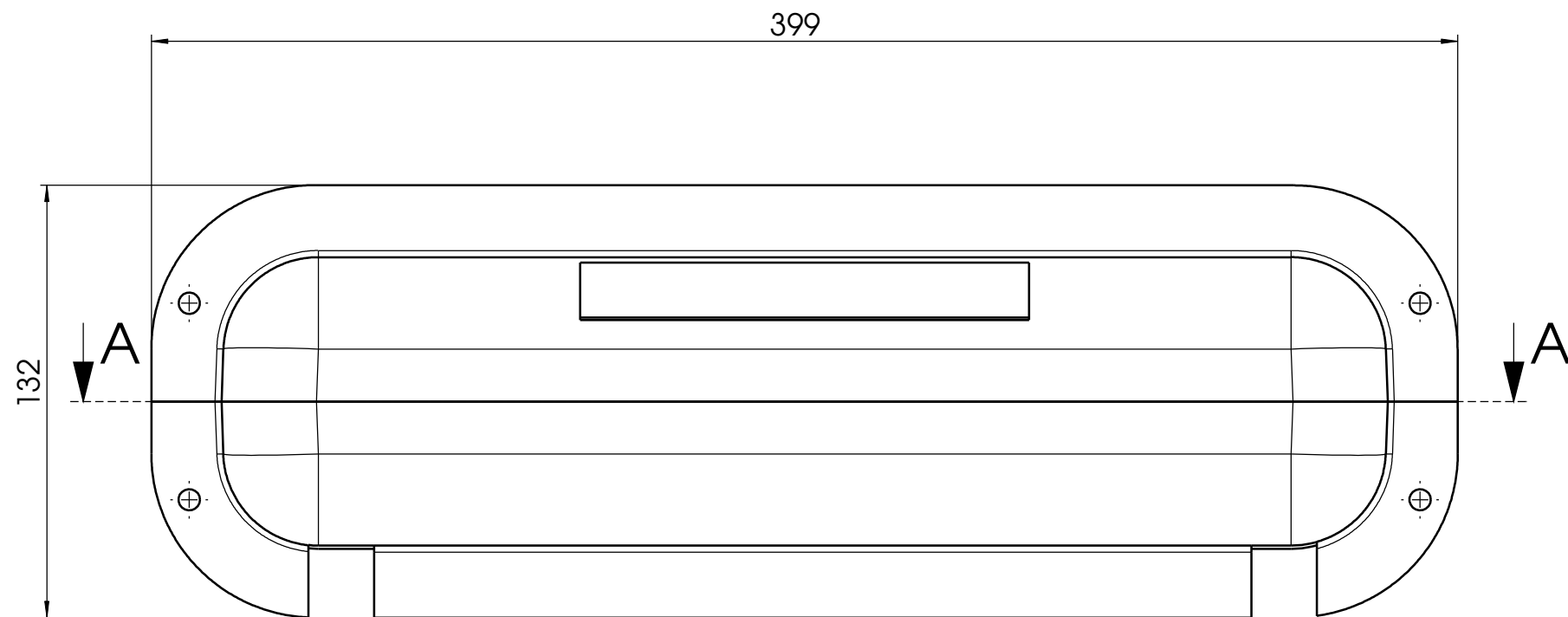
Blatt 1  
Blätter 1

[illegible]

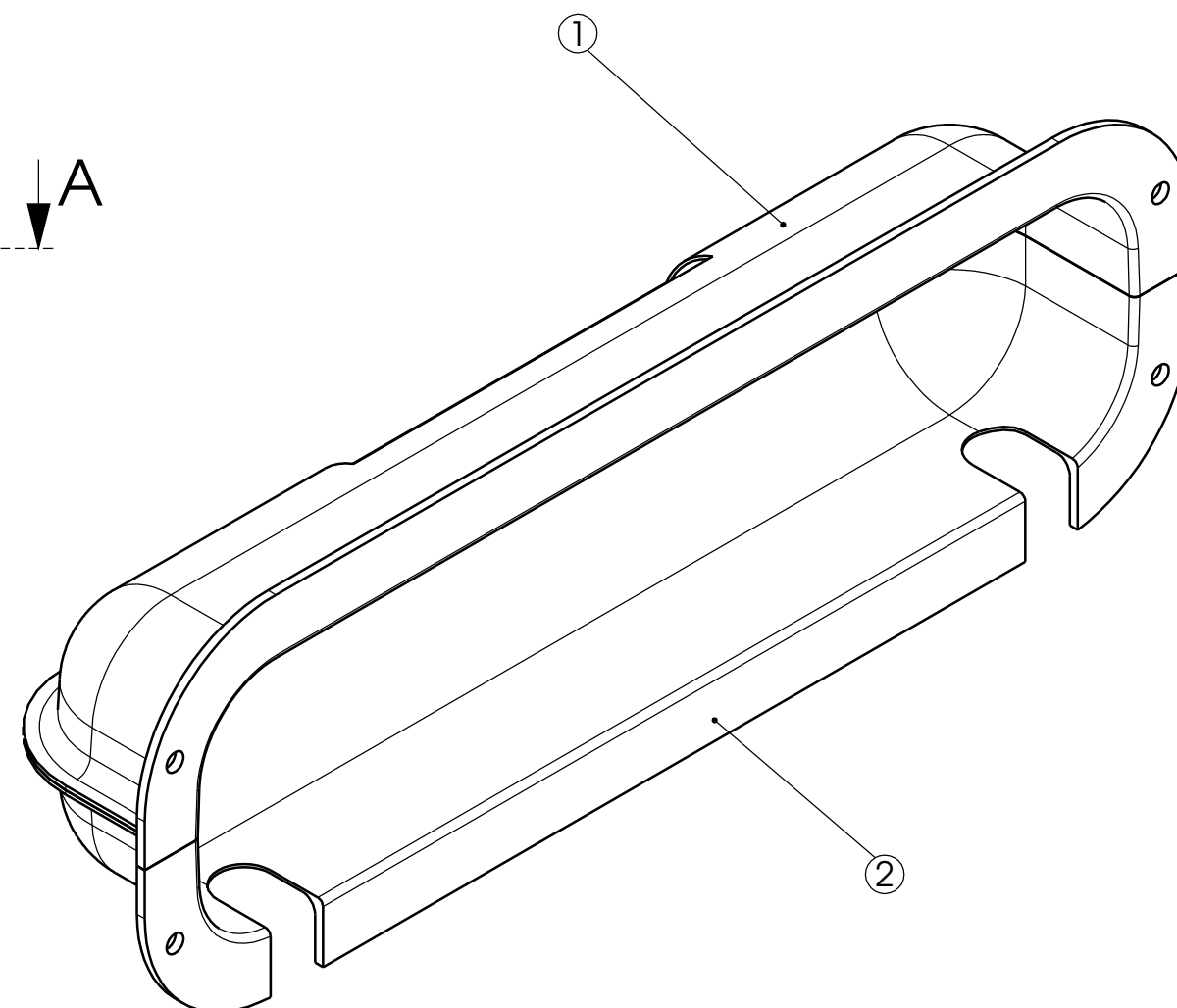


Benötigte Stückzahl: 1

(Verwendungsbereich)			(Zul.Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:1	(Gewicht)
			Klasse DIN ISO 2768 m			(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)	Aluminium
0	Erstausgabe	14.04.09		Datum	Name	Durchflussbegrenzerring	
			Bearb.	14.04.09	Kloppe		
			Gepr.				
			Norm				
			Hochschule Mittweida			1-21-02-01	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:



A-A (1 : 2)

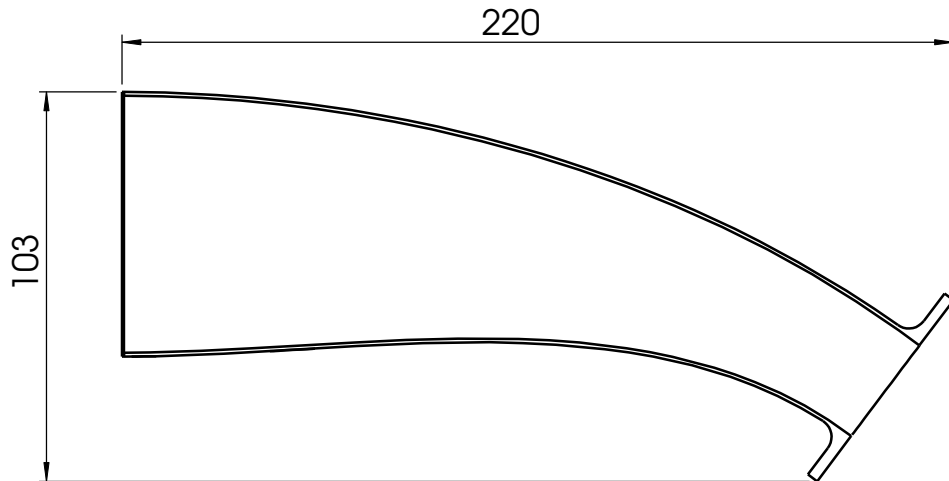
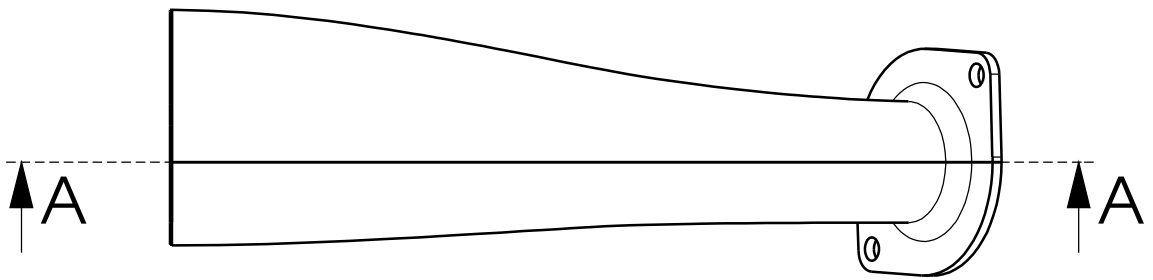


Benötigte Stückzahl: 1

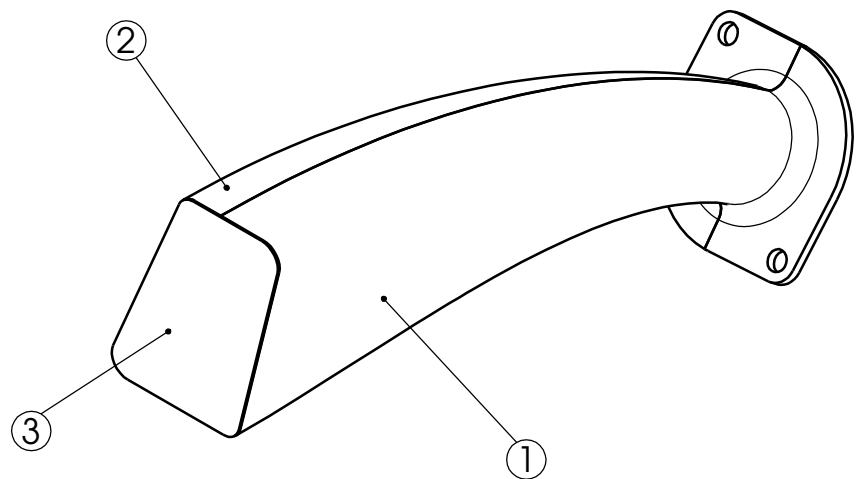
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.) Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)	Maßstab 1:2		(Gewicht)		
							(Werkstoff Halbzeug) CFK (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)				
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name	Deckel				
				Bearb.	31.03.09	Kloppe					
				Gepr.							
				Norm							
				Hochschule Mittweida			1-21-03-00				
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:			Ersatz durch:		



[illegible]



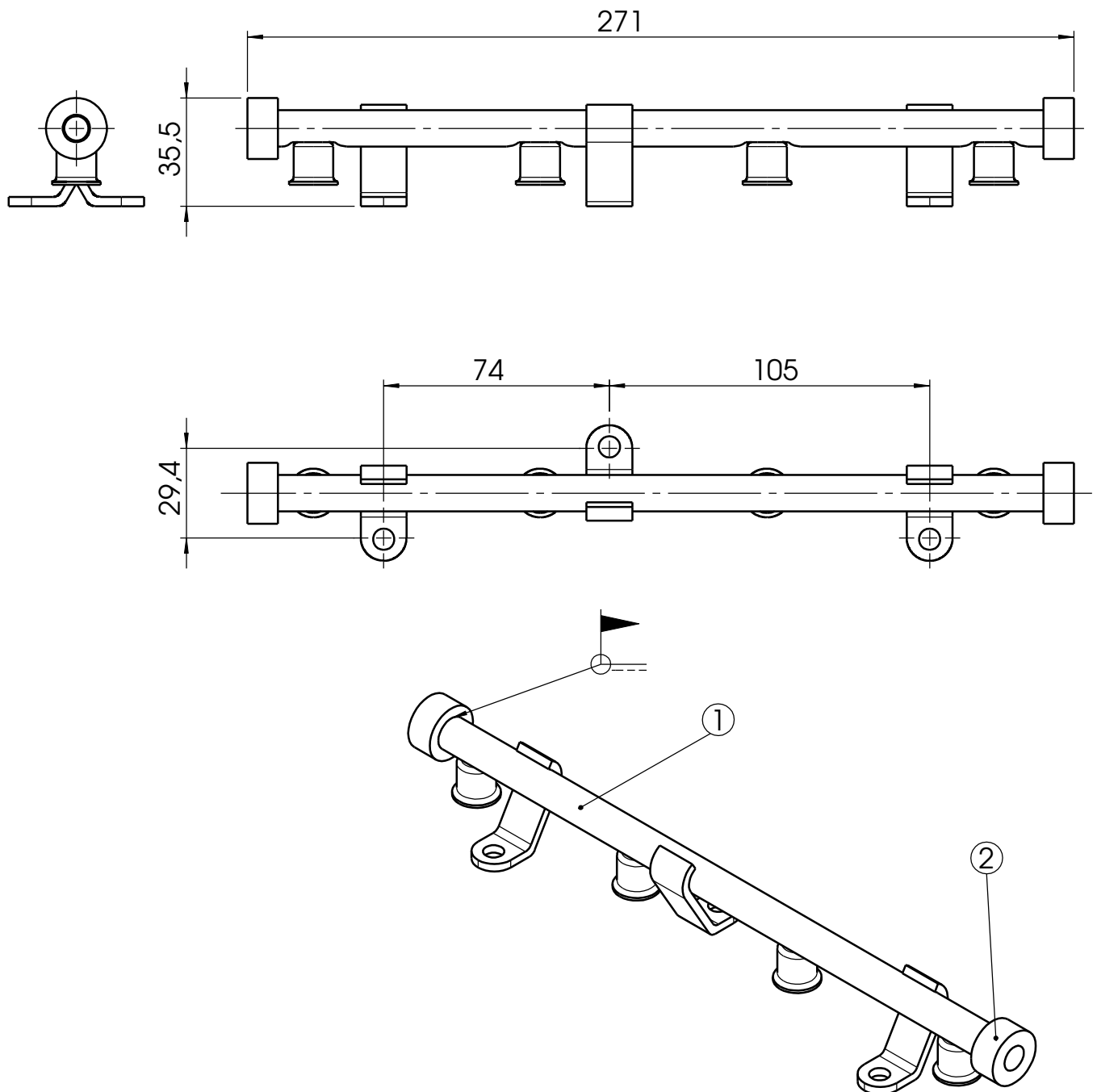
A-A (1 : 2)



Benötigte Stückzahl: 1

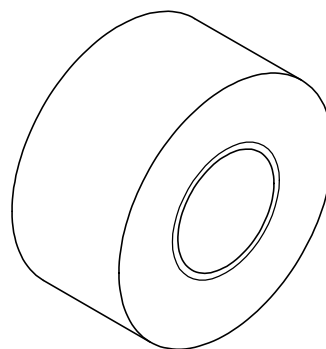
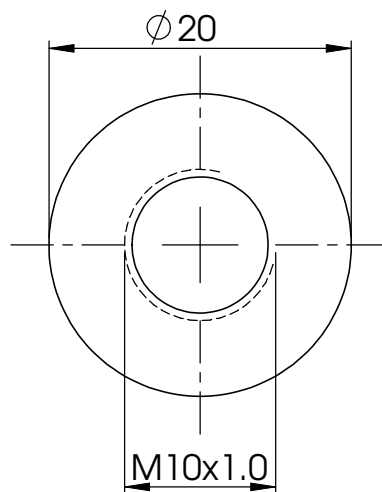
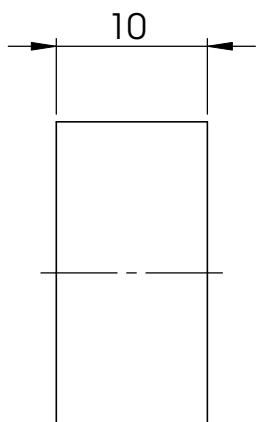
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:2		(Gewicht)						
								(Werkstoff Halbzeug) CFK		(Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)						
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name	Luftfilter									
				Bearb.	31.03.09	Kloppe										
				Gepr.												
				Norm												
							1-21-04-00					Blatt 1				
				Hochschule Mittweida												
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung			beschn.		Ersatz für:			Ersatz durch:				

[illegible]




(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 1:2		(Gewicht)	
								(Werkstoff Halbzeug) Stahl (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)			
0	Erstausgabe	31.03.09			Datum	Name		Kraftstoffleiste			
				Bearb.	31.03.09	Kloppe					
				Gepr.							
				Norm							
								1-21-05-00			
				Hochschule 							
				Mittweida			Blatt 1				
							Blätter 1				
Rev.	Änderung	Datum	Name	Ursprung		beschn.		Ersatz für:		Ersatz durch:	

[illegible]



Benötigte Stückzahl: 2

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)  Klasse DIN ISO 2768 m		(Oberfl.)		Maßstab 2:1		(Gewicht)		
								(Werkstoff Halbzeug) S 235		(Rohteil-Nr.)		
										(Modell- oder Gesenk-Nr.)		
0	Erstausgabe	02.04.09			Datum	Name		Gewindestück				
				Bearb.	02.04.09	Kloppe						
				Gepr.								
				Norm								
				Hochschule Mittweida 				1-21-05-01			Blatt 1	
											Blätter 1	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:			Ersatz durch:			

## **Anlage C: Datenblätter Laminiermaterialien**

- C.1 Datenblatt Harz und Härter AH140 TC30
- C.2 Datenblatt Harz und Härter AH140 TC60
- C.3 Datenblatt EbaboardS
- C.4 Datenblatt Kleber für Plattenware (EbaboardS)

Bezeichnung **temperaturbeständiges Laminierharz**  
Harz **AH 140**  
Härter **TC 30**

Farbe gelblich-transparent  
**weitere Härter TC 60 / TC 180**

## Anwendungen

- Handlamine
- Lamine für den Bootsbau
- Lamine für den Fahrzeugbau
- Lamine für den Flugzeugbau

## Materialeigenschaften

- dünnflüssig
- hohe Festigkeit
- hohe Wärmeformbeständigkeit
- sehr gute Benetzungseigenschaften
- ungefüllt

## Verarbeitungsdaten

Produkt		Mischung AH 140 / TC 30	Harz AH 140	Härter TC 30
Farbe		gelblich-transparent	gelblich-transparent	bläulich-transparent
Mischungsverhältnis	Gew. Teile		100	30
Viskosität bei 25°C	mPas	850 ± 100	1000 ± 200	230 ± 30
Dichte bei 20°C	g / cm <sup>3</sup>	1,13 ± 0,02	1,17 ± 0,02	0,99 ± 0,02
Topfzeit 200 g / 20°C	min.	20 - 30	-	-
Entformzeit bei RT	Std.	12 - 16	-	-
Temperung	Zeit in Std. / Temp. in °C	4 - 6 / 60 5 - 6 / 80	-	-

## Physikalische Daten

Eigenschaften	Prüfvorschriften	Einheit	Wert
Biegefestigkeit	EN ISO 178	MPa	125 ± 10
E-Modul (Biege)	EN ISO 178	MPa	3200 ± 350
Biegedehnung bei Bruch	EN ISO 178	%	6,5 ± 0,2
Druckfestigkeit	EN ISO 604	MPa	105 ± 10
Schlagzähigkeit nach Charpy	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	35 ± 10
Wärmeformbeständigkeit (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	107 ± 3
Glasübergangstemperatur T <sub>g</sub>	Methode TMA	°C	ca. 111
Shore Härte	DIN 53505	Shore D	87 ± 3

## Lieferform

Einzelgebinde Harz AH 140 5,000 kg / 10,000 kg / 25,000 kg / 50,000 kg / 220,000 kg  
Härter TC 30 1,5 kg / 5 kg



## Verarbeitungshinweise

Das Material- und die Verarbeitungstemperatur sollte zwischen 18 und 25 °C liegen.  
Die Mischung von Harz und Härter sollte intensiv und möglichst blasenfrei bei Raumtemperatur erfolgen.

Zusätzliche Hinweise zur Temperung:

- 24 h bei RT
- 4 bis 6 h bei 60°C
- 5 bis 6 h bei 80°C

## Lagerung

In temperierten Räumen 18 – 25°C  
Unter ungünstigen Lagerbedingungen auftretende Kristallisation kann durch Erwärmen auf ca. 60 °C aufgehoben werden.  
Angebrochene Gebinde sind stets sofort wieder feuchtigkeitsdicht zu verschließen und möglichst schnell zu verarbeiten.

Die Haltbarkeit des Materials entnehmen Sie bitte den Produktetiketten.

## Schutzmaßnahmen

Bei der Verarbeitung dieses Produkts sollten die von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie empfohlenen Schutzmaßnahmen beachtet werden. Sicherheitsratschläge befolgen.

## Entsorgung

Die ausgehärteten Materialien können nach Absprache mit der jeweiligen zuständigen Behörde als Haus – oder Gewerbeabfall entsorgt werden.

Nicht ausgehärtete Produkte müssen nach Absprache mit der zuständigen Behörde ordnungsgemäß entsorgt werden.  
Für weitere Fragen steht ihnen unsere Abteilung Produktsicherheit gerne zur Verfügung.

Diese Angaben und Empfehlungen wurden aufgrund eingehender Versuche und langjähriger, praktischer Erfahrungen mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Da die Verarbeitung beim Verbraucher unserer Kontrolle entzogen ist, kann bei der Vielseitigkeit der Anwendungsmöglichkeiten und der Arbeitsmethoden für den einzelnen Fall keine Gewähr übernommen werden. Diese Angaben gelten als unverbindliche Informationen und enthalten keine Gewähr für bestimmte Merkmale oder Eigenschaften des Produktes. Unsere Informationen befreien den Kunden nicht von einer eigenen Eignungsprüfung bezogen auf Anwendungen und Verfahren. Sollte eine bestimmte Gewähr von Daten notwendig sein, ist darüber eine entsprechende schriftliche Zusatzvereinbarung zu treffen.

ebalta Kunststoff GmbH . Erlbacher Straße 100 . 91541 Rothenburg ob der Tauber / Germany  
Tel.: +49 9861 7007-0 . Fax: +49 9861 7007-77 . [info@ebalta.de](mailto:info@ebalta.de) . [www.ebalta.de](http://www.ebalta.de)

Bezeichnung	<b>temperaturbeständiges Laminierharz</b>
Harz	<b>AH 140</b>
Härter	<b>TC 60</b>
Farbe	gelblich-transparent
weitere Härter	<b>TC 30 / TC 180</b>

## Anwendungen

- Handlamine
- Infusionsverfahren
- Kohlefaser-Sichtlamine
- Lamine für den Bootsbau
- Lamine für den Fahrzeugbau
- Lamine für den Flugzeugbau

## Materialeigenschaften

- dünnflüssig
- gute Durchhärtung bei Raumtemperatur
- hohe Festigkeit
- hohe Wärmeformbeständigkeit
- sehr gute Benetzungseigenschaften

## Verarbeitungsdaten

Produkt		Mischung AH 140 / TC 60	Harz AH 140	Härter TC 60
Farbe		gelblich-transparent	gelblich-transparent	gelblich-transparent
Mischungsverhältnis	Gew. Teile		<b>100</b>	<b>30</b>
Viskosität bei 25°C	mPas	600 ± 75	1000 ± 200	55 ± 5
Dichte bei 20°C	g / cm <sup>3</sup>	1,10 ± 0,02	1,17 ± 0,02	0,93 ± 0,02
Topfzeit 200 g / 20°C	min.	55 - 65	-	-
Entformzeit bei RT	Std.	22 - 26	-	-
Temperung	Zeit in Std. / Temp. in °C	4 - 6 / 60 5 - 6 / 80	-	-

## Physikalische Daten

Eigenschaften	Prüfvorschriften	Einheit	Wert
Biegefestigkeit	EN ISO 178	MPa	120 ± 10
E-Modul (Biege)	EN ISO 178	MPa	2900 ± 300
Biegedehnung bei Bruch	EN ISO 178	%	7,5 ± 0,4
Druckfestigkeit	EN ISO 604	MPa	85 ± 8
Schlagzähigkeit nach Charpy	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	50 ± 8
Wärmeformbeständigkeit (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	97 ± 3
Glasübergangstemperatur T <sub>g</sub>	Methode TMA	°C	ca. 114
Shore Härte	DIN 53505	Shore D	86 ± 3

## Lieferform

Einzelgebinde	Harz	AH 140	5,000 kg / 10,000 kg / 25,000 kg / 50,000 kg / 220,000 kg
	Härter	TC 60	1,5 kg / 5 kg / 25 kg / 50 kg

## Verarbeitungshinweise

Das Material- und die Verarbeitungstemperatur sollte zwischen 18 und 25 °C liegen.  
Die Mischung von Harz und Härter sollte intensiv und möglichst blasenfrei bei Raumtemperatur erfolgen.

Zusätzliche Hinweise zur Temperung:

- 24 h bei RT
- 4 bis 6 h bei 60°C
- 5 bis 6 h bei 80°C

## Allgemeines

Eine Zwischenschichthaftung nach 24 Stunden bei RT ist gegeben.

## Lagerung

In temperierten Räumen 18 – 25°C

Unter ungünstigen Lagerbedingungen auftretende Kristallisation kann durch Erwärmen auf ca. 60 °C aufgehoben werden.  
Angebrochene Gebinde sind stets sofort wieder feuchtigkeitsdicht zu verschließen und möglichst schnell zu verarbeiten.

Die Haltbarkeit des Materials entnehmen Sie bitte den Produktetiketten.

## Schutzmaßnahmen

Bei der Verarbeitung dieses Produkts sollten die von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie empfohlenen Schutzmaßnahmen beachtet werden. Sicherheitsratschläge befolgen.

## Entsorgung

Die ausgehärteten Materialien können nach Absprache mit der jeweiligen zuständigen Behörde als Haus – oder Gewerbeabfall entsorgt werden.

Nicht ausgehärtete Produkte müssen nach Absprache mit der zuständigen Behörde ordnungsgemäß entsorgt werden.  
Für weitere Fragen steht ihnen unsere Abteilung Produktsicherheit gerne zur Verfügung.

Diese Angaben und Empfehlungen wurden aufgrund eingehender Versuche und langjähriger, praktischer Erfahrungen mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Da die Verarbeitung beim Verbraucher unserer Kontrolle entzogen ist, kann bei der Vielseitigkeit der Anwendungsmöglichkeiten und der Arbeitsmethoden für den einzelnen Fall keine Gewähr übernommen werden. Diese Angaben gelten als unverbindliche Informationen und enthalten keine Gewähr für bestimmte Merkmale oder Eigenschaften des Produktes. Unsere Informationen befreien den Kunden nicht von einer eigenen Eignungsprüfung bezogen auf Anwendungen und Verfahren. Sollte eine bestimmte Gewähr von Daten notwendig sein, ist darüber eine entsprechende schriftliche Zusatzvereinbarung zu treffen.

ebalta Kunststoff GmbH · Erlbacher Straße 100 · 91541 Rothenburg ob der Tauber / Germany  
Tel.: +49 9861 7007-0 · Fax: +49 9861 7007-77 · [info@ebalta.de](mailto:info@ebalta.de) · [www.ebalta.de](http://www.ebalta.de)

Bezeichnung **ebaboard S**

Farbe rotbraun

## Anwendungen

- Urmodelle
- Gießereimodelle
- Architekturmodelle
- Kopiermodelle
- Anschauungsmodelle
- Designmodelle
- Kunsthandwerk

## Materialeigenschaften

- dichte Oberfläche
- feines Gefüge
- sehr gut bearbeitbar (enthält keine abrasiven Füllstoffe)
- sehr gute Kantenstabilität

## Verarbeitungsdaten

<b>Produkt</b>		<b>ebaboard S</b>
Farbe		rotbraun
Dichte bei 20°C	g / cm <sup>3</sup>	0,70 ± 0,02

## Physikalische Daten

Eigenschaften	Prüfvorschriften	Einheit	Wert
Biegefestigkeit	EN ISO 178	MPa	25,0 ± 3,0
E-Modul (Biege)	EN ISO 178	MPa	-
Biegedehnung bei Bruch	EN ISO 178	%	-
Zugfestigkeit	EN ISO 527	MPa	15,0 ± 2,0
Reißdehnung	ISO 37	%	4,0 ± 0,5
Druckfestigkeit	EN ISO 604	MPa	24,0 ± 3,0
Schlagzähigkeit nach Charpy	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	6,0 ± 1,0
Wärmeformbeständigkeit (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	67 ± 2
Shore Härte	DIN 53505	Shore D	65 ± 3
Längenausdehnungskoeffizient	DIN 53752	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	ca. 55

## Lieferform

**ebaboard S**

1500 x 500 x 25 mm  
1500 x 500 x 50 mm  
1500 x 500 x 75 mm  
1500 x 500 x 100 mm  
1500 x 500 x 150 mm  
1500 x 500 x 200 mm

## Verarbeitungshinweise

Hinweise zur Bearbeitung der Plattenware

- Fräsauflage abplanen
- Geometrie schrappen
- Abspannen, wenn möglich über Nacht entspannen lassen
- Aufspannen
- Schlichten

Das Verkleben der Plattenware erfolgt mit unserem "Kleber für Plattenware".

Die verklebten Teile sind mittels Schraubzwingen oder durch Beschweren leicht zu fixieren.

Fräsparemeter sind vorhanden

## Allgemeines

**ebaboard** Waren sind in fest definierten Grössen lieferbar. Die Oberfläche ist allseitig bearbeitet.

Die **ebaboard** Ware ist ein synthetisches und getempertes Plattenmaterial auf Polyurethanbasis mit gleichmäßigem Gefüge und planparallel bearbeiteten Oberflächen.

Vorteile sind:

- Dichtes Gefüge
- Kantenstabilität
- Spannungsarm
- Gute Bearbeitbarkeit
- Geringe Staubentwicklung

Maßabweichungen von 1 - 2 % sind möglich.

Bei den Produkten mit der Kennzeichnung VP handelt es sich um ein Versuchsprodukt.

Hierbei können sich bei den technischen Daten noch geringfügige Veränderungen ergeben.

## Schutzmaßnahmen

**ebaboard**- Produkte sind ausgehärtete, gefüllte Polyadditions-Kunststoffe, welche beim Schleifen keine gefährlichen Stäube ergeben. Es dürfen jedoch die, wie bei der mechanischen Bearbeitung von Holz und Metall entstehenden Staubmengen von 6 mg/m<sup>3</sup> (MAK-Wert) nicht überschritten werden.

Alle **ebaboard**-Produkte sind nach der Gefahrstoffverordnung und bei Transport und Lagerung nicht kennzeichnungspflichtig.

Bei der Verarbeitung dieses Produkts sollten die von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie empfohlenen Schutzmaßnahmen beachtet werden.

Sicherheitsratschläge befolgen.

## Entsorgung

Kleinmengen können in gewerblichen Hausmüll entsorgt werden.

Bei größeren Mengen sollte dies mit der zuständigen Behörde abgestimmt werden.

Für weitere Fragen steht Ihnen unsere Abteilung Produktsicherheit gerne zur Verfügung.

Diese Angaben und Empfehlungen wurden aufgrund eingehender Versuche und langjähriger, praktischer Erfahrungen mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Da die Verarbeitung beim Verbraucher unserer Kontrolle entzogen ist, kann bei der Vielseitigkeit der Anwendungsmöglichkeiten und der Arbeitsmethoden für den einzelnen Fall keine Gewähr übernommen werden. Diese Angaben gelten als unverbindliche Informationen und enthalten keine Gewähr für bestimmte Merkmale oder Eigenschaften des Produktes. Unsere Informationen befreien den Kunden nicht von einer eigenen Eignungsprüfung bezogen auf Anwendungen und Verfahren. Sollte eine bestimmte Gewähr von Daten notwendig sein, ist darüber eine entsprechende schriftliche Zusatzvereinbarung zu treffen.

ebalta Kunststoff GmbH · Erlbacher Straße 100 · 91541 Rothenburg ob der Tauber / Germany  
Tel.: +49 9861 7007-0 · Fax: +49 9861 7007-77 · [info@ebalta.de](mailto:info@ebalta.de) · [www.ebalta.de](http://www.ebalta.de)

Bezeichnung **Kleber für Plattenware**  
 Harz **Kleber für Plattenware**  
 Härter **Härter Kleber für Plattenware**

Farbe beige  
 weitere Farben rotbraun / grün / grau / ocker / gelb / blau

## Anwendungen

- Verklebung von ebazell 250
- Verklebung von ebazell 350
- Verklebung von ebaboard L
- Verklebung von ebaboard 60
- Verklebung von ebaboard S
- Verklebung von ebaboard 1200
- Verklebung von ebaboard PW 920
- Verklebung von ebaboard LX
- Verklebung von eblock M 04
- Verklebung von eblock 140
- Verklebung von ebaboard 140

## Materialeigenschaften

- hohe Festigkeit
- sehr gutes Füll- und Fließverhalten

## Verarbeitungsdaten

Produkt		Mischung Kleber für Plattenware	Harz Kleber für Plattenware	Härter Härter Kleber für Plattenware
Farbe		beige	rotbraun	braun
Mischungsverhältnis	Gew. Teile		100	53
Viskosität bei 25°C	mPas	thixotrop	thixotrop	200 ± 50
Dichte bei 20°C	g / cm <sup>3</sup>	1,18 ± 0,02	1,16 ± 0,02	1,22 ± 0,02
Topfzeit 100 g / 20°C	min.	5 - 7	-	-
Entformzeit bei RT	Std.	-	-	-

## Lieferform

Einzelgebinde	Harz	Kleber für Plattenware	0,260 kg / 1,000 kg / 5,000 kg
	Härter	Härter Kleber für Plattenware	0,140 kg / 0,540 kg / 2,700 kg

## Verarbeitungshinweise

Harzgebilde vor Entnahme gründlich aufrühren. Der Kleber wird einseitig auf die Klebefläche aufgetragen und durch Beschweren oder leichtem Verspannen fixiert.

Verklebungen sind nach ca. 3 - 4 Stunden hantierbar.

Die mechanische Bearbeitung sollte jedoch erst nach 6 - 8 Stunden erfolgen.

Verbrauch: ca. 600 - 700 g/m<sup>2</sup>

Wir empfehlen das Auftragen des Klebers mit einem Zahnspachtel.

## Allgemeines

Der Kleber ist ein bei Raumtemperatur härtendes Zweikomponentensystem auf Polyurethanbasis. Es besteht aus einer gefüllten Stammkomponente und einem Isocyanathärter (MDI).

Der Kleber zeichnet sich durch eine Reihe von Vorzügen aus:

- hohe Festigkeit
- witterungs- und feuchtigkeitsbeständig
- sehr gutes Füllverhalten

## Lagerung

In temperierten Räumen 18 – 25°C

Angebrochene Gebinde sind stets zu verschließen und baldmöglichst zu verarbeiten.

Die Haltbarkeit des Materials entnehmen Sie bitte den Produktetiketten.

## Schutzmaßnahmen

Bei der Verarbeitung dieses Produkts sollten die von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie empfohlenen Schutzmaßnahmen beachtet werden. Sicherheitsratschläge befolgen.

## Entsorgung

Die ausgehärteten Materialien können nach Absprache mit der jeweiligen zuständigen Behörde als Haus – oder Gewerbeabfall entsorgt werden.

Nicht ausgehärtete Produkte müssen nach Absprache mit der zuständigen Behörde ordnungsgemäß entsorgt werden.

Für weitere Fragen steht ihnen unsere Abteilung Produktsicherheit gerne zur Verfügung.

Diese Angaben und Empfehlungen wurden aufgrund eingehender Versuche und langjähriger, praktischer Erfahrungen mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Da die Verarbeitung beim Verbraucher unserer Kontrolle entzogen ist, kann bei der Vielseitigkeit der Anwendungsmöglichkeiten und der Arbeitsmethoden für den einzelnen Fall keine Gewähr übernommen werden. Diese Angaben gelten als unverbindliche Informationen und enthalten keine Gewähr für bestimmte Merkmale oder Eigenschaften des Produktes. Unsere Informationen befreien den Kunden nicht von einer eigenen Eignungsprüfung bezogen auf Anwendungen und Verfahren. Sollte eine bestimmte Gewähr von Daten notwendig sein, ist darüber eine entsprechende schriftliche Zusatzvereinbarung zu treffen.

ebalta Kunststoff GmbH . Erlbacher Straße 100 . 91541 Rothenburg ob der Tauber / Germany  
Tel.: +49 9861 7007-0 . Fax: +49 9861 7007-77 . [info@ebalta.de](mailto:info@ebalta.de) . [www.ebalta.de](http://www.ebalta.de)

## Glossar

**Diffusor:** Als Diffusor bezeichnet man den Bereich innerhalb des Ansaugtraktes, welcher die Luftströmung verlangsamt und den Luftdruck erhöht. Dieser schließt sich üblicherweise an den Luftmengenbegrenzer an, welcher einen Druckabfall durch den verminderten Querschnitt verursacht.

**Gemischbildung:** Der Vorgang der Gemischbildung bezeichnet die Entstehung eines brennbaren Luft-/Kraftstoffgemisches bei einem Verbrennungsmotor. Dies wird durch die Einspritzung des Kraftstoffs in die Saugrohre mittels Einspritzventilen erreicht, wobei der Kraftstoff fein zerstäubt wird und sich somit in der Luft verteilen kann.

**Luftaufwand:** Der Luftaufwand ist das Verhältnis zwischen der zugeführten Frischladung zur theoretisch im Zylinder möglichen Luftmasse. Damit berücksichtigt der Luftaufwand die während der Zylinderfüllung auftretenden Verluste und lässt daher Aussagen über die Qualität des Ansaugsystems sowie des -prozesses zu.

**Luftmengenbegrenzer:** Der Luftmengenbegrenzer ist ein durch das Reglement vorgegebenes Bauteil im Saugtrakt, welches dazu führt, dass nur eine bestimmte Luftmasse angesaugt werden kann, wodurch die Maximalleistung des Motors begrenzt ist.

**Luftverhältnis:** Das Luftverhältnis beschreibt die Zusammensetzung des Luft-/Kraftstoffgemisches, wobei das ideale Verhältnis bei Benzin 14,7:1 beträgt.

**Mitteldruck, effektiver:** Der Mitteldruck ist ein gedachter konstanter Druck, welcher während eines Arbeitsspiels des Motors die gleiche Arbeit an der Kurbelwelle verrichtet, wie der tatsächliche sich periodisch ändernde Druck im Brennraum. Dadurch kann er zur Berechnung weiterer Parameter genutzt werden.



## Literaturverzeichnis

- [1] **SAE International**, <collegiatecompetitions@sae.org>: 2009 Formula SAE Rules. URL: <<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2009fsaerules.pdf>>, verfügbar am 30.09.2008
- [2] **Farkhondeh, Ehsan**: Design of a Dry Sump Lubrication System for a Honda CBR F4i engine for Formula SAE applications. - 2006. - S.5  
Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Bachelor Thesis, 2006
- [3] **Formula Student Germany**, <contact@formulastudent.de>: Formula Student Germany Konzept. URL: <http://www.formulastudent.de/de/ueber-formula-student-germany/konzept/>, verfügbar am 13.01.2009
- [4] **Formula Student Germany**, <contact@formulastudent.de>: FSG Rules 2009. URL: <[http://formulastudent.de/uploads/media/FSG\\_RULES\\_2009\\_Version20081107\\_01.pdf](http://formulastudent.de/uploads/media/FSG_RULES_2009_Version20081107_01.pdf)>, verfügbar am 14.01.2009
- [5] **Trzesniowski, Michael**: Rennwagentechnik, Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme. - 1. Aufl. - Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage GmbH, 2008
- [6] **Van Basshuysen / Schäfer**: Handbuch Verbrennungsmotor, Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. - 3. Aufl. - Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2005
- [7] **Van Basshuysen**, <r.vanbasshuysen@motorlexikon.de>: Einfluss der Saugrohrlänge auf das Drehmoment.  
URL: <<http://www.motorlexikon.de/?l=5809&R=S>>, verfügbar am 30.02.2009
- [8] **Golloch, Rainer**: Downsizing bei Verbrennungsmotoren, Ein wirkungsvolles Konzept zur Kraftstoffverbrauchssenkung. - 1. Aufl. - Berlin: Springer Verlag, 2005
- [9] **Eichsleder, Helmut / Klüting, Manfred**: Der Fahrzeugantrieb, Grundlagen und Technologien des Ottomotors. - 1. Aufl. - Berlin: Springer Verlag, 2008
- [10] **Geller, Wolfgang**: Thermodynamik für Maschinenbauer. - 3. Aufl. - Berlin: Springer Verlag, 2005

- [11] **Stoffregen, Jürgen:** Motorradtechnik, Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk. - 6. Aufl. - Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, 2006
- [12] **Mollenhauer, Klaus / Tschöke, Helmut:** Handbuch Dieselmotoren. - 3. Aufl. - Berlin: Springer Verlag, 2007
- [13] **Suter Kunststoffe AG,<info@swiss-composite.ch>:** Formenbau mit GFK, Herstellung einer Kunststoffform. URL:< <http://www.swiss-composite.ch/pdf/i-formenbau.pdf>>, verfügbar am 21.04.2009
- [14] **Suter Kunststoffe AG,<info@swiss-composite.ch>:** Herstellung eines Trickski in Wabenbauweis. URL:< <http://download.r-g.de/trickski.pdf>>, verfügbar am 21.04.2009

## Stichwortverzeichnis

- Abgasanlage 42  
Abgasturboaufladung 20  
Abreißgewebe 52  
Ansaugtrichter 30, 31, 32, 37  
Ansprechverhalten 22  
Aufladung 17, 23, 24, 29  
Aufladungsprinzip 23  
CFK 27, 30, 40, 48  
Diffusor 33  
Drosselklappe 35  
Drosselorgan 21, 34  
Durchflussbegrenzer 21, 23, 24, 27, 33, 34  
Einlasskanal 26, 30  
Einlassventil 18  
Einspritzung 15, 36  
Einspritzventil 37, 38  
Entformungsrichtung 50  
Filterelement 15  
Filtergitter 36  
Flachschieber 35  
Frischladung 18  
Gemischbildung 37  
Kompressor 20  
Krümmer 43  
Ladedruck 20  
Ladeluftkühler 19  
Ladungswechselrechnung 42  
Lavaldüse 33, 39  
Lochfolie 52  
Luftfilter 14, 15, 36  
Luftmassenstrom 24, 27, 38  
Luftmengenbegrenzer 15, 24  
Lufttemperatursensor 36  
Luftverteiler 32  
Mechanische Aufladung 20  
Mitteldruck 17, 33, 43  
Nasslaminat 48  
Negativform 49  
Positivform 49  
Reinluftleitung 25, 33, 34, 35  
Resonanzaufladung 18  
Restriktor 31, 34  
Rohluftleitung 14  
Rollenprüfstand 56  
Saugmotor 14, 19, 23  
Saugrohr 15, 17, 24, 30  
Saugrohrdurchmesser 16, 28  
Saugrohrlänge 16, 29  
Saugsock 52  
Saugvlies 52  
Schalldämpfer 44  
Schwingrohraufladung 17, 18, 24  
Schwingrohrefekt 29  
Spülgefälle 42, 43  
Teillast 34  
Treibstoffsystem 38  
Turbolader 20  
Verdichter 19, 21, 24  
Verpuffung 55  
Verteilervolumen 15, 17, 25, 30, 31  
Vollast 34  
Wandreibung 27  
Zylinderfüllung 27

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung der vorliegenden Diplomarbeit unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern Herrn Prof. Dr.-Ing. Weidemann, für die Vergabe und Betreuung der Diplomarbeit, sowie Herrn Dipl.-Ing. Wüstrich für seine hilfreichen Anregungen und seine Bereitschaft als Zweitgutachter zu fungieren.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Süchting und Herrn Tzschunke bedanken, welche mir mit ihrem technischen Know-How und ihrer Geduld bei der Fertigung der benötigten Bauteile geholfen haben.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. John und Herrn Dr.-Ing. Bauer für die nützlichen Ratschläge und die Unterstützung bei der Herstellung der CFK Komponenten bedanken, sowie Herrn Dipl.-Ing. Schlosser für die unkomplizierte Hilfe während des Laminierens der Bauteile.

Ein herzliches Dankeschön geht zudem an Herrn Müller für die vielen praktischen Tipps und Diskussionen rund um den Motor des Rennwagens und an alle Teammitglieder des Technikum Mittweida Motorsport, die mir bei der Fertigung des Ansaugtrakts geholfen haben.

Nicht zuletzt möchte ich besonders meinen Eltern danken, die mir durch ihre fortwährende Unterstützung dieses Studium und die damit verbundene Diplomarbeit erst ermöglicht haben.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift